



TESIS - TE142599

**DETEKSI KERUSAKAN BEARING MOTOR INDUKSI
DENGAN ANALISA ARUS STARTING
MENGUNAKAN TRANSFORMASI WAVELET
DISKRIT DAN JARINGAN SARAF TIRUAN**

EVA NAVASARI
07111550010011

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Dimas Anton Asfani, ST., MT
Dr. Eng. I Made Yulistia Negara, ST., M.Sc.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM TENAGA
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



TESIS - TE142599

**DETEKSI KERUSAKAN BEARING MOTOR INDUKSI
DENGAN ANALISA ARUS STARTING
MENGUNAKAN TRANSFORMASI WAVELET
DISKRIT DAN JARINGAN SARAF TIRUAN**

EVA NAVASARI
07111550010011

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Dimas Anton Asfani, ST., MT
Dr. Eng. I Made Yulistia Negara, ST., M.Sc.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM TENAGA
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

Eva Navasari

NRP. 07111550010011

Tanggal Ujian : 09 Juli 2018

Periode Wisuda : September 2018

Disetujui oleh:

1. Dr. Dimas Anton Asfani, ST, MT
NIP:198109052005011002

(Pembimbing I)

2. Dr.Eng. I Made Yulistya Negara, S.T, M.Sc (Pembimbing II)
NIP:197007121998021001

3. Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D. (Penguji)
NIP: 197311192000031001

4. Dr. Ir. Soedibjo, M.MT.
NIP: 195512071980031004

(Penguji)

5. Dr. Dimas Fajar Uman Putra, S.T., M.T.
NIP: 198811082012121001

(Penguji)

Dekan Fakultas Teknologi Elektro

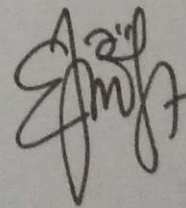
Dr. Tri Arief Sardjono, S.T., M.T.
NIP. 197002121995121001

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tesis saya dengan judul “**DETEKSI KERUSAKAN BEARING MOTOR INDUKSI DENGAN ANALISA ARUS STARTING MENGGUNAKAN TRANSFORMASI WAVELET DISKRIT DAN JARINGAN SARAF TIRUAN**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

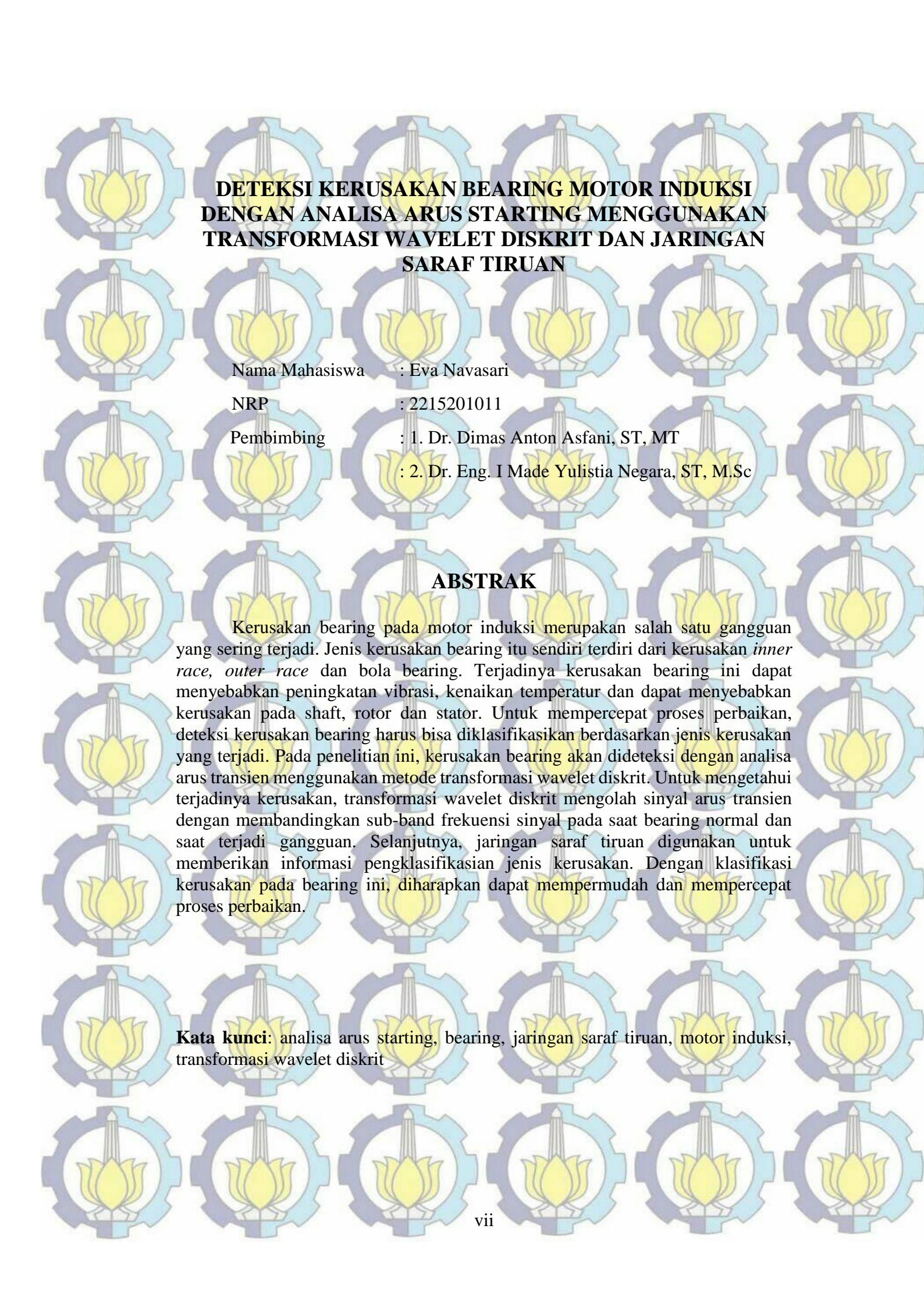
Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 16 Mei 2018



Eva Navasari

NRP. 2215201011



DETEKSI KERUSAKAN BEARING MOTOR INDUKSI DENGAN ANALISA ARUS STARTING MENGGUNAKAN TRANSFORMASI WAVELET DISKRIT DAN JARINGAN SARAF TIRUAN

Nama Mahasiswa : Eva Navasari

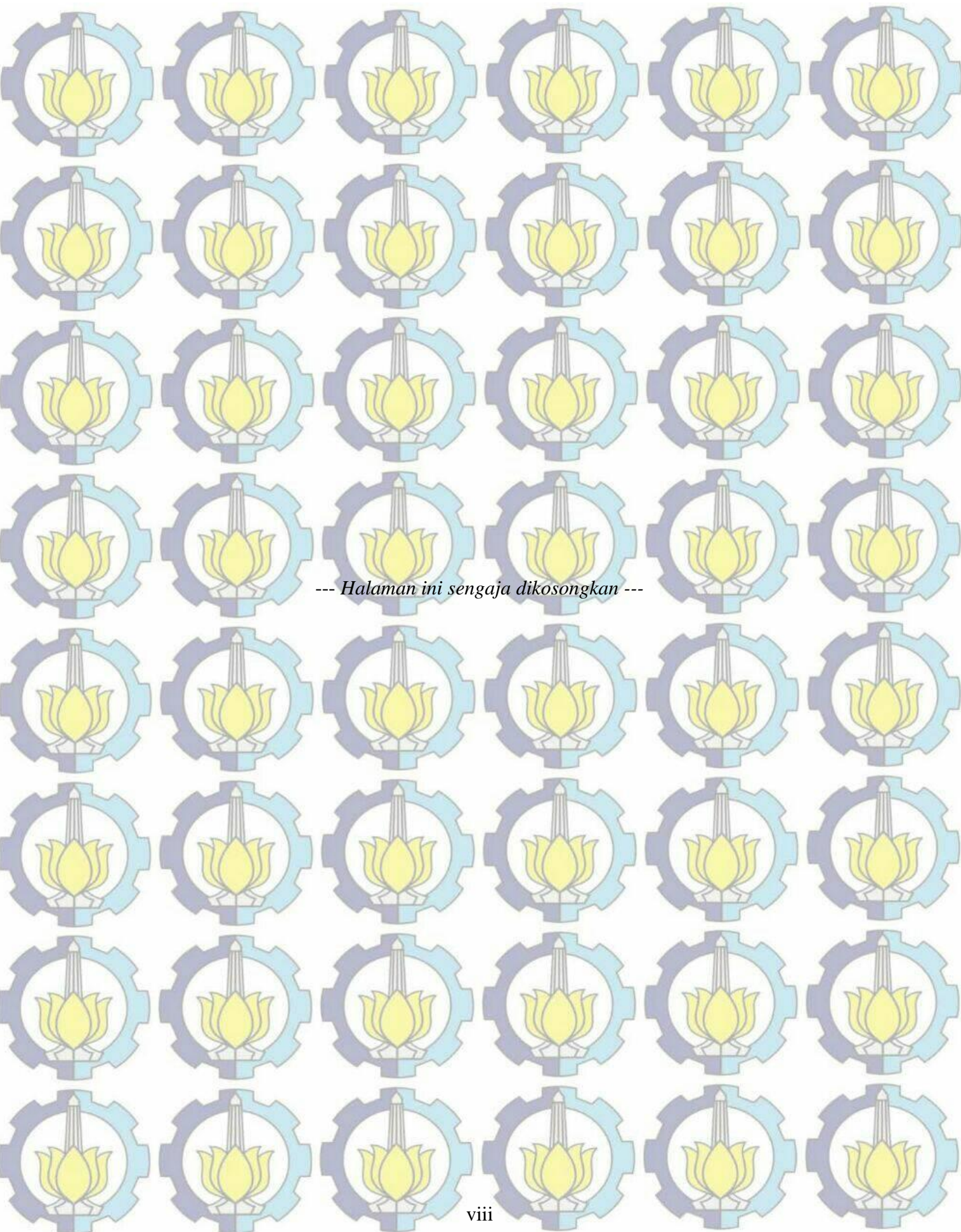
NRP : 2215201011

Pembimbing : 1. Dr. Dimas Anton Asfani, ST, MT
: 2. Dr. Eng. I Made Yulistia Negara, ST, M.Sc

ABSTRAK

Kerusakan bearing pada motor induksi merupakan salah satu gangguan yang sering terjadi. Jenis kerusakan bearing itu sendiri terdiri dari kerusakan *inner race*, *outer race* dan bola bearing. Terjadinya kerusakan bearing ini dapat menyebabkan peningkatan vibrasi, kenaikan temperatur dan dapat menyebabkan kerusakan pada shaft, rotor dan stator. Untuk mempercepat proses perbaikan, deteksi kerusakan bearing harus bisa diklasifikasikan berdasarkan jenis kerusakan yang terjadi. Pada penelitian ini, kerusakan bearing akan dideteksi dengan analisa arus transien menggunakan metode transformasi wavelet diskrit. Untuk mengetahui terjadinya kerusakan, transformasi wavelet diskrit mengolah sinyal arus transien dengan membandingkan sub-band frekuensi sinyal pada saat bearing normal dan saat terjadi gangguan. Selanjutnya, jaringan saraf tiruan digunakan untuk memberikan informasi pengklasifikasian jenis kerusakan. Dengan klasifikasi kerusakan pada bearing ini, diharapkan dapat mempermudah dan mempercepat proses perbaikan.

Kata kunci: analisa arus starting, bearing, jaringan saraf tiruan, motor induksi, transformasi wavelet diskrit



--- Halaman ini sengaja dikosongkan ---



DETECTION OF INDUCTION MOTOR BEARING DAMAGE WITH STARTING CURRENT ANALYSIS USING WAVELET DISCRETE TRANSFORM AND ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

By : Eva Navasari

Student Identity Number : 2215201011

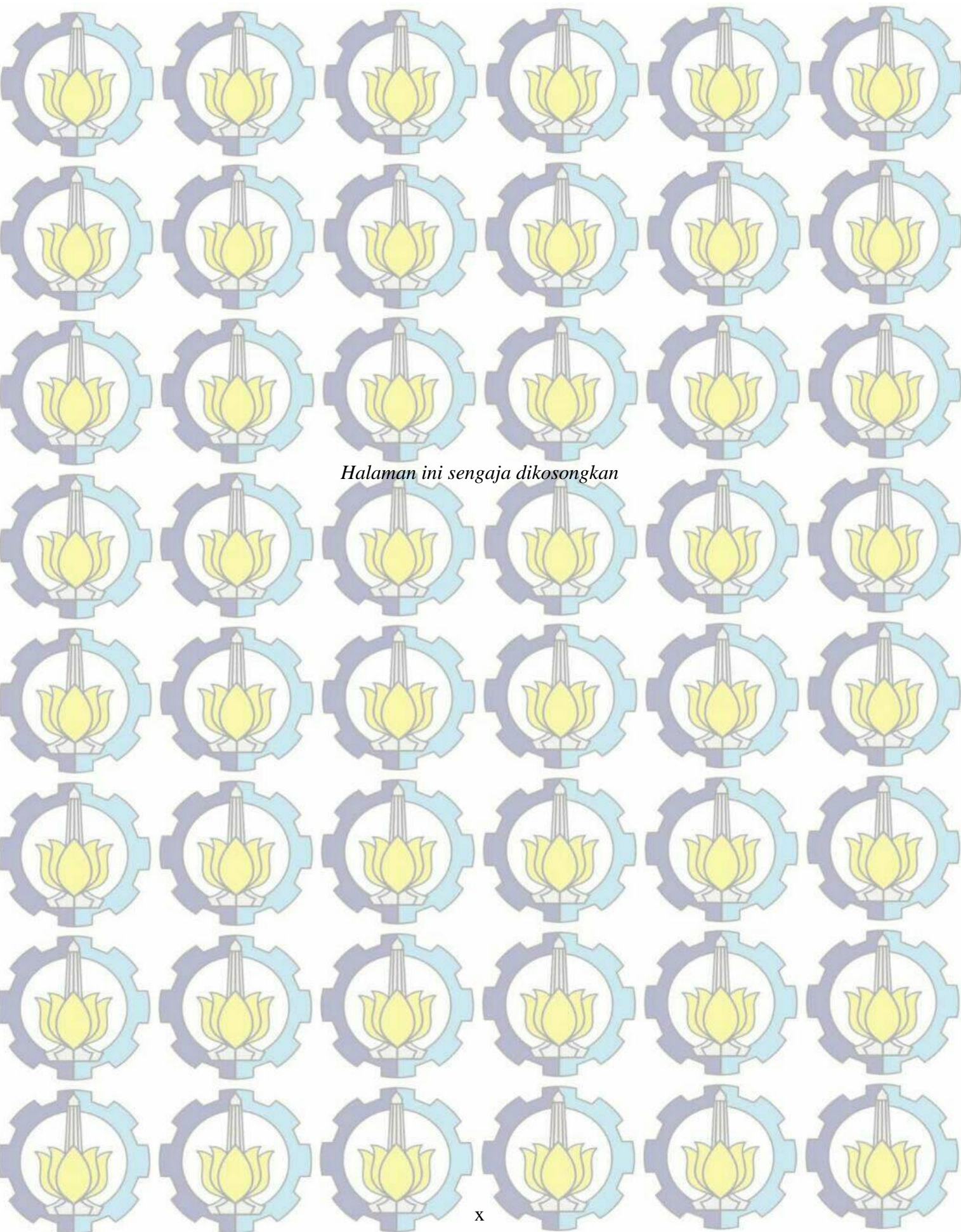
Supervisors : 1. Dr. Dimas Anton Asfani, S.T, M.T

2. Dr.Eng. I Made Yulistya Negara, S.T, M.Sc

ABSTRACT

Bearing damage in induction motor is one of the most common disruptions. The type of bearing damage itself consists of damage to the inner race, outer race and ball bearing. The occurrence of this bearing damage may cause increased vibration, temperature rise and may cause damage to the shafts, rotor and stator. To speed up the repair process, bearing damage detection should be classified according to the type of damage occurring. In this study, bearing damage will be detected by transient current analysis using discrete wavelet transform method. To determine the occurrence of damage, processing of transient current signals in discrete wavelet transforms is by comparing the signal frequency sub-band at normal bearings and during interruption. Furthermore, artificial neural networks are used to provide information on classification of types of damage. With the classification of damage to this bearing, it is expected to simplify and speed up the repair process.

Keywords: Analysis of starting current, Bearing, Artificial Neural Network, Induction motor, Discrete wavelet transform



Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT karena atas limpahan karunia rahmat-Nya sehingga karya akhir yang berjudul “Deteksi Kerusakan Bearing Motor Induksi Dengan Analisa Arus Starting Menggunakan Transformasi Wavelet Diskrit Dan Jaringan Saraf Tiruan” ini dapat terselesaikan dengan baik. Untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Ir. Joni Hermana M.Sc.ES., Ph.D., selaku Rektor Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya,
2. Bapak Dr. Tri Arief Sardjono, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknologi Elektro Institut Teknolgi Sepuluh Nopember,
3. Bapak Dr.Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng., selaku Kepala Departemen Teknik Elektro Institut Teknolgi Sepuluh Nopember,
4. Bapak Dr. Dimas Anton Asfani, S.T., M.T dan Bapak Dr. I Made Yulistya Negara, S.T., M.Sc selaku dosen pembimbing tesis atas waktu dan kesabarannya dalam memberikan bimbingan dan ilmu pada penulis,
5. Para dosen dan karyawan Institut Teknolgi Sepuluh Nopember yang banyak membantu dalam proses perkuliahan,
6. Suami serta keluarga besar atas segala doa dan dukungan yang diberikan,
7. Teman-teman Teknik Sistem Tenaga ITS 2015 (Ina-Madiun, Rani-Makasar, Restu-Samarinda, Daeng-Pamekasan, Belly-Sumenep, Abi-Sidoarjo, Evin-Sidoarjo, Ari-Pamekasan, Mas Samsudin-Sidoarjo, Samudra-Surabaya, Fajar-Lamongan, Mas Hedi-Sampang dan Thoeurn Muy-Cambodia) atas kebersamaan selama ini,
8. Teman-teman kos (kak Ita dan Dini) dan teman-teman IPMB Surabaya.

Akhir kata, segala kritik dan saran penulis perlukan demi penyempurnaan karya akhir ini, dan semoga karya akhir ini bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, Desember 2017
Penulis



Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Kontribusi	2
1.6 Metodologi Penelitian	2
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1 Motor Induksi	5
2.1.1 Konstruksi Motor Induksi	6
2.1.2 Prinsip Kerja Motor Induksi	7
2.2 Bearing	8
2.3 Transformasi Wavelet Diskrit	9
2.3.1 Wavelet daubechies	11
2.3.2 Power detail density (PDD)	11
2.4 Jaringan Saraf Tiruan	12
2.4.1 Fungsi Aktivasi	13
2.4.2 Backpropagation	14

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1 Konfigurasi Sistem	17
3.2 Konstruksi Kerusakan Bearing.....	21
3.3 Pengujian Dengan Variasi Beban	22
3.4 Perancangan Sistem Pengolahan Data.....	23
3.4.1 Transformasi Wavelet Diskrit	24
3.4.2 Jaringan Saraf Tiruan	25
BAB 4 HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA DATA.....	31
4.1 Akuisisi data.....	31
4.2 Pengolahan Sinyal Arus Menggunakan Transformasi Wavelet.....	34
4.3 Klasifikasi Data Dengan Jaringan Saraf Tiruan	49
BAB 5 PENUTUP	57
5.1 Kesimpulan.....	57
2.5 Saran.....	57
DAFTAR PUSTAKA.....	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Jenis Rotor Motor Induksi	5
Gambar 2.2 Komponen Motor Induksi (a) Stator (b) Rotor	6
Gambar 2.3 Konstruksi Bearing Motor Induksi	8
Gambar 2.4 Dekomposisi Wavelet	10
Gambar 2.5 Klasifikasi Dalam Wavelet Untuk Tiga Level Dekomposisi .	11
Gambar 2.6 Arsitektur Jaringan Backpropagation	14
Gambar 3.1 Konfigurasi Sistem Kerusakan Bearing	15
Gambar 3.2 Motor Induksi Tiga Fasa	16
Gambar 3.3 Generator Sinkron	17
Gambar 3.4 Alat Akuisisi cdaq 9171	17
Gambar 3.5 Rekonstruksi Kerusakan Pada <i>Outer-Race</i> Bearing	19
Gambar 3.6 Rekonstruksi Kerusakan Pada Bola Bearing	20
Gambar 3.7 Rekonstruksi Kerusakan Pada <i>Inner-Race</i> Bearing	20
Gambar 3.8 Skema Pengolahan Data	22
Gambar 3.9 Diagram Alur Transformasi Wavelet Diskrit	23
Gambar 3.10 Arsitektur Jaringan Saraf Tiruan Untuk Penelitian	24
Gambar 4.1 Sinyal Arus (a) Sinyal Arus Starting Pada Saat Kondisi Tidak Berbeban (b) Sinyal Arus Starting Pada Kondisi Berbeban .	30
Gambar 4.2 Sinyal Arus Starting 5 Cycle Dengan 2500 Data Pada Kondisi Tanpa Beban	31
Gambar 4.3 Sinyal Arus Starting 5 Cycle Dengan 2500 Data Pada Kondisi Berbeban	31
Gambar 4.4 Perbandingan D5 Pada Kondisi Normal Dengan Beban 0% (a) Kondisi Kerusakan Bola (b) Kondisi Kerusakan Inner (c) Kondisi Kerusakan Outer	33
Gambar 4.5 Perbandingan D5 Pada Kondisi Normal Dengan Beban 25% (a) Kondisi Kerusakan Bola (b) Kondisi Kerusakan Inner (c) Kondisi Kerusakan Outer	34

Gambar 4.6 Perbandingan D5 Pada Kondisi Normal Dengan Beban 50% (a) Kondisi Kerusakan Bola (b) Kondisi Kerusakan Inner (c) Kondisi Kerusakan Outter	36
Gambar 4.7 Perbandingan D5 Pada Kondisi Normal Dengan Beban 75% (a) Kondisi Kerusakan Bola (b) Kondisi Kerusakan Inner (c) Kondisi Kerusakan Outter	37
Gambar 4.8 Perbandingan D5 Pada Kondisi Normal Dengan Beban 100% (a) Kondisi Kerusakan Bola (b) Kondisi Kerusakan Inner (c) Kondisi Kerusakan Outter	39
Gambar 4.9 Kurva best performance pelatihan	50
Gambar 4.10 Kurva <i>mean squared error</i> fasa R	50
Gambar 4.11 Kurva kesesuaian data pengujian dan target fasa R.....	50
Gambar 4.12 Kurva <i>mean squared error</i> fasa S.....	51
Gambar 4.13 Kurva kesesuaian data pengujian dan target fasa S	51
Gambar 4.14 Kurva <i>mean squared error</i> fasa S.....	51
Gambar 4.15 Kurva kesesuaian data pengujian dan target fasa R.....	51
Gambar 4.16 Kurva kesesuaian data target dan output fasa R.....	53
Gambar 4.17 Kurva kesesuaian data target dan output fasa S.....	54
Gambar 4.18 Kurva kesesuaian data target dan output fasa T	55

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Wavelet	11
Tabel 3.1 Data Motor Induksi Tiga Fasa	18
Tabel 3.2 Data generator sinkron tiga fasa	19
Tabel 3.3 Data cdaq 9171	20
Tabel 3.4 Rekonstruksi kerusakan bearing	21
Tabel 3.5 Data pembebanan	23
Tabel 3.6 Data pengujian	23
Tabel 4.1 Persentase rata-rata keberhasilan deteksi pada setiap kondisi kerusakan	39
Tabel 4.2 Hasil energi untuk setiap kondisi pada saat beban 0% dalam satu kali percobaan fasa R.....	41
Tabel 4.3 Hasil energi untuk setiap kondisi pada saat beban 25% dalam satu kali percobaan fasa R.....	42
Tabel 4.4 Hasil energi untuk setiap kondisi pada saat beban 50% dalam satu kali percobaan fasa R.....	42
Tabel 4.5 Hasil energi untuk setiap kondisi pada saat beban 75% dalam satu kali percobaan fasa R.....	43
Tabel 4.6 Hasil energi untuk setiap kondisi pada saat beban 100% dalam satu kali percobaan fasa R.....	43
Tabel 4.7 Hasil energi untuk setiap kondisi pada saat beban 0% dalam satu kali percobaan fasa S.....	44
Tabel 4.8 Hasil energi untuk setiap kondisi pada saat beban 25% dalam satu kali percobaan fasa S.....	44
Tabel 4.9 Hasil energi untuk setiap kondisi pada saat beban 50% dalam satu kali percobaan fasa S.....	45
Tabel 4.10 Hasil energi untuk setiap kondisi pada saat beban 75% dalam satu kali percobaan fasa S.....	45
Tabel 4.11 Hasil energi untuk setiap kondisi pada saat beban 100% dalam satu kali percobaan fasa S.....	46

Tabel 4.12 Hasil energi untuk setiap kondisi pada saat beban 0% dalam satu kali percobaan fasa T.....	46
---	----

Tabel 4.13 Hasil energi untuk setiap kondisi pada saat beban 25% dalam satu kali percobaan fasa T.....	47
--	----

Tabel 4.14 Hasil energi untuk setiap kondisi pada saat beban 50% dalam satu kali percobaan fasa T.....	47
--	----

Tabel 4.15 Hasil energi untuk setiap kondisi pada saat beban 75% dalam satu kali percobaan fasa T.....	48
--	----

Tabel 4.16 Hasil energi untuk setiap kondisi pada saat beban 100% dalam satu kali percobaan fasa T.....	48
---	----

Tabel 4.7 Tabel Persentase Error Hasil Pengujian fasa R.....	53
--	----

Tabel 4.7 Tabel Persentase Error Hasil Pengujian fasa S.....	54
--	----

Tabel 4.7 Tabel Persentase Error Hasil Pengujian fasa T.....	55
--	----

Tabel 4.7 Tabel Persentase Error Hasil Deteksi Tiap Fasa	55
--	----

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Motor induksi merupakan salah satu komponen penting dalam dunia industri, sehingga kerusakan yang diakibatkan oleh motor induksi dapat mempengaruhi proses produksi. Oleh karena itu, gangguan-gangguan yang diakibatkan oleh motor induksi harus dideteksi sedini mungkin. Hasil studi menunjukkan bahwa 41% kegagalan mesin disebabkan adanya permasalahan pada bearing [1,2] sehingga mendeteksi adanya permasalahan pada bearing sangat penting untuk menjaga performa motor induksi tetap stabil.

Kerusakan pada bearing ini dapat menyebabkan peningkatan suhu kerja, suara mesin yang tidak normal, vibrasi dan timbulnya bunga api sehingga dapat menyebabkan kerusakan pada bagian motor induksi yang lain [2]. Sumber eksternal yang menyebabkan kerusakan bearing meliputi kontaminasi, korosi, pelumasan yang tidak tepat dan instalasi yang tidak tepat atau *brinelling* yaitu terjadinya lekukan akibat beban yang berlebihan.

Untuk menghindari gangguan yang diakibatkan oleh kerusakan bearing, perlu adanya monitoring kerusakan. Pengklasifikasian jenis kerusakan pada bearing terdiri dari kerusakan pada *outer race* yaitu bagian cincin baja luar dengan ukuran yang lebih besar, *inner race* yang merupakan bagian cincin baja yang berukuran lebih kecil dan terhubung dengan shaft serta bagian bola bearing. Monitoring kerusakan dilakukan dengan analisa sinyal arus. Sinyal arus dapat dianalisa dalam bentuk domain waktu ataupun domain frekuensi. Dengan domain waktu dimungkinkan untuk menganalisa sistem saat transien seperti pada saat *start up* atau stop. Dengan menggunakan analisa arus transien yaitu pada saat starting, diharapkan kerusakan bearing dapat dideteksi sehingga jenis kerusakan dapat segera diketahui.

1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penelitian ini adalah eksperimen rekonstruksi kerusakan bearing. Jenis kerusakan dibagi menjadi tiga jenis yaitu *outer race*, *inner race* dan bola bearing. Setelah dilakukan rekonstruksi kerusakan pada bearing, data sinyal arus starting dianalisa dengan metode transformasi wavelet diskrit dan untuk pengklasifikasian kerusakan digunakan jaringan saraf tiruan.

1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui jenis kerusakan pada bearing dengan menganalisa arus starting menggunakan metode wavelet dan jaringan saraf tiruan. Setelah dianalisa, kerusakan diklasifikasikan berdasarkan kerusakan *outer race*, *inner race* atau bola bearing. Hal ini diharapkan dapat bermanfaat untuk proses pemeliharaan secara efektif dan efisien.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah pengujian dilakukan pada motor induksi tiga fasa, kasus yang diteliti adalah deteksi kerusakan bearing dengan kondisi kerusakan pada *inner race*, *outer race* dan bola bearing dengan pembebanan 0%, 25%, 50%, 75% dan 100%. Pengujian dilakukan pada saat motor starting dengan menggunakan transformasi wavelet diskrit dan jaringan saraf tiruan sebagai pengklasifikasian jenis kerusakan.

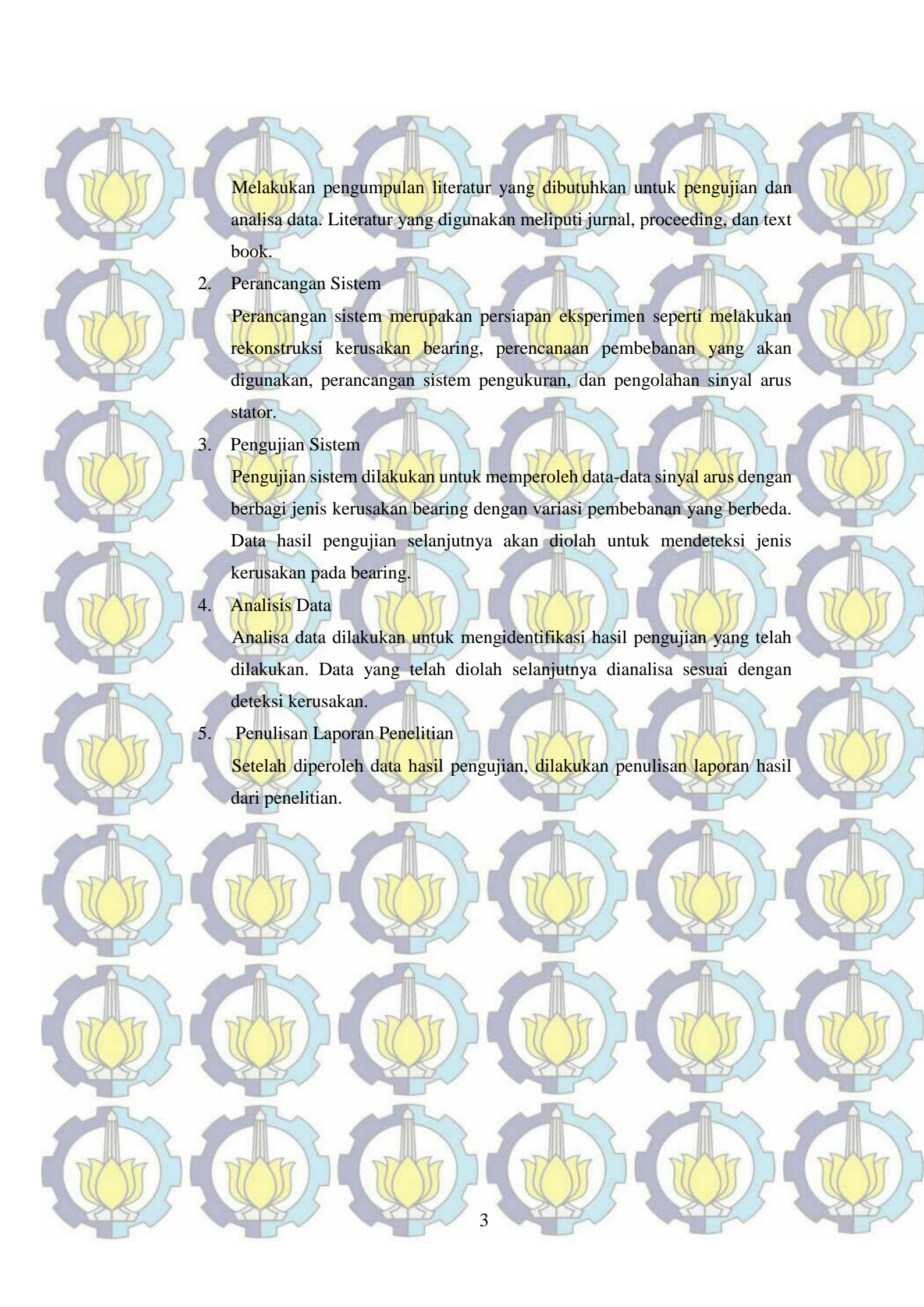
1.5 Kontribusi

Sistem deteksi pada kerusakan bearing ini dapat meminimalisir kerusakan yang lebih berat pada motor induksi, karena dengan deteksi dini kerusakan akan mempercepat proses perbaikan dan pemeliharaan.

1.6 Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur



Melakukan pengumpulan literatur yang dibutuhkan untuk pengujian dan analisa data. Literatur yang digunakan meliputi jurnal, proceeding, dan text book.

2. Perancangan Sistem

Perancangan sistem merupakan persiapan eksperimen seperti melakukan rekonstruksi kerusakan bearing, perencanaan pembebanan yang akan digunakan, perancangan sistem pengukuran, dan pengolahan sinyal arus stator.

3. Pengujian Sistem

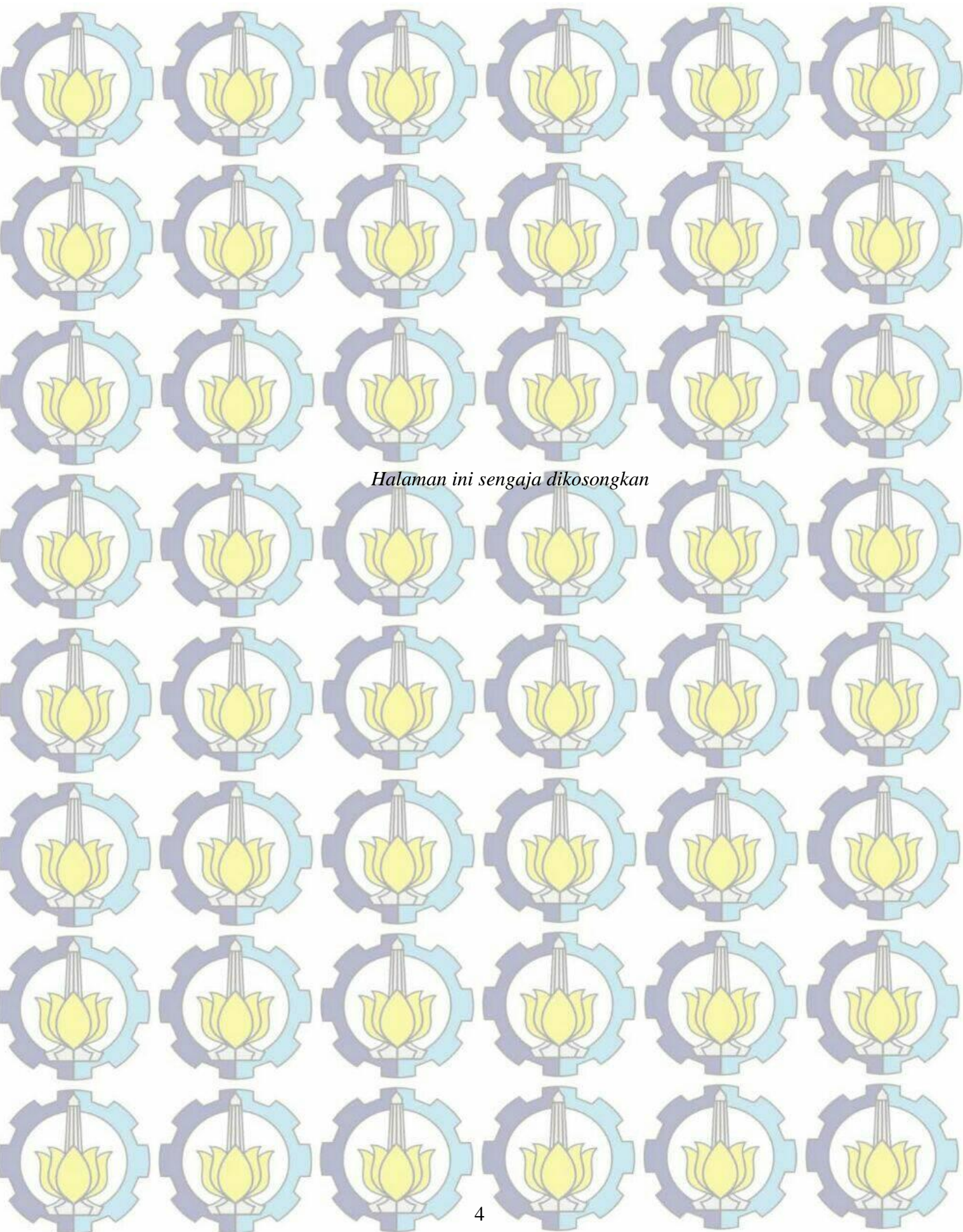
Pengujian sistem dilakukan untuk memperoleh data-data sinyal arus dengan berbagi jenis kerusakan bearing dengan variasi pembebanan yang berbeda. Data hasil pengujian selanjutnya akan diolah untuk mendeteksi jenis kerusakan pada bearing.

4. Analisis Data

Analisa data dilakukan untuk mengidentifikasi hasil pengujian yang telah dilakukan. Data yang telah diolah selanjutnya dianalisa sesuai dengan deteksi kerusakan.

5. Penulisan Laporan Penelitian

Setelah diperoleh data hasil pengujian, dilakukan penulisan laporan hasil dari penelitian.



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Motor Induksi

Motor induksi adalah motor bolak balik yang sering digunakan dalam perindustrian. Motor induksi dibedakan menjadi dua tipe, yaitu motor induksi dengan rotor sangkar dan motor induksi dengan rotor belit. Perbedaan mendasar kedua tipe ini adalah dari segi konstruksi, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.1 [3].

Perputaran motor induksi diakibatkan karena adanya medan putar yang dihasilkan oleh kumparan stator. Adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dan medan putar stator menyebabkan adanya arus yang terinduksi. Belitan stator mengakibatkan timbulnya medan magnet yang berputar dengan kecepatan sinkron. Medan putar pada stator akan memotong konduktor pada rotor sehingga terinduksi arus dan menyebabkan rotor berputar mengikuti medan putar. Perbedaan putaran relatif antara stator dan rotor disebut slip. Jika torsi motor semakin besar karena adanya beban yang bertambah maka slip yang terjadi antara medan putar stator dan putaran rotor akan bertambah besar [14]. Sehingga putaran rotor akan menurun jika motor diberikan beban yang semakin besar.



(a) Rotor sangkar

(b) Rotor Belit

Gambar 2.1 Jenis Rotor Motor Induksi [3]

2.1.1 Konstruksi Motor Induksi

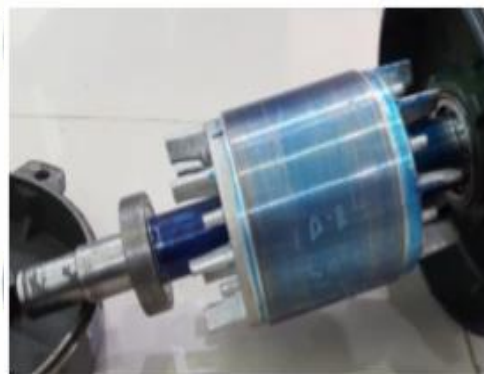
Motor induksi memiliki dua komponen utama yaitu rotor yang merupakan bagian dalam dan stator yang merupakan bagian luar motor induksi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Stator memiliki konstruksi berlapis dan mempunyai alur untuk melilitkan kumparan. Terbuat dari rangka baja berlubang dan inti stator dibuat berlaminasi. Kumparan pada stator dapat menginduksikan medan elektromagnetik kepada kumparan rotor. Pada stator terdapat tiga buah kumparan dimana ujung belitan kumparan dihubungkan melalui terminal sehingga mempermudah menghubungkan dengan sumber tegangan.

Rotor pada motor induksi terdiri dari dua tipe yaitu rotor sangkar dan rotor belit seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1. Motor induksi yang lebih banyak digunakan adalah motor induksi tipe rotor sangkar karena rotor sangkar memiliki bentuk yang lebih sederhana daripada rotor belit. Belitan rotor terdiri atas batang-batang penghantar yang ditempatkan dalam alur rotor. Batang penghantar ini terbuat dari bahan tembaga, alloy atau aluminium.

Motor induksi jenis rotor belit terdiri dari belitan fasa banyak dimana belitan tersebut dimasukkan kedalam alur-alur rotor. Belitan ini sama dengan belitan stator, tetapi biasanya terhubung secara bintang. Tiga buah ujung-ujung belitan dihubungkan ke terminal-terminal sikat atau cincin geser yang terletak pada poros rotor yang disebut dengan slipring.



(a)



(b)

Gambar 2.2 komponen motor induksi (a) stator (b) rotor

2.1.2 Prinsip Kerja Motor Induksi

Motor induksi bekerja berdasarkan induksi medan magnet ke rotor. Apabila kumparan stator dihubungkan dengan sumber tegangan tiga fasa maka akan timbul medan putar (*rotating magnetic field*) pada stator. Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor sehingga akan menimbulkan induksi gaya gerak listrik (GGL). Gaya gerak listrik (GGL) ini akan menghasilkan arus (I) karena kumparan rotor merupakan rangkaian tertutup. Adanya arus dalam medan magnet akan menimbulkan gaya (F) pada rotor. Apabila kopel mula yang dihasilkan oleh gaya (F) tersebut cukup besar untuk memikul kopel beban maka rotor akan berputar searah dengan medan putar stator.

Seperti penjelasan diatas bahwa tegangan induksi terjadi karena adanya batang konduktor (rotor) yang terpotong oleh medan putar stator, oleh karena itu agar tegangan terinduksi diperlukan adanya perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator dengan kecepatan putar rotor. Perbedaan kecepatan medan putar stator dan kecepatan rotor disebut dengan slip (S).

Persamaan matematis kecepatan putaran medan stator, kecepatan putaran rotor dan slip dapat dilihat pada Persamaan 2.1 sampai dengan 2.3

$$ns = \frac{120fs}{P} \quad (2.1)$$

$$nr = ns - \frac{120fr}{P} \quad (2.2)$$

$$S = \frac{ns - nr}{ns} \quad (2.3)$$

dimana:

ns : Kecepatan putar medan stator

fs : frekuensi stator

nr : kecepatan putar rotor

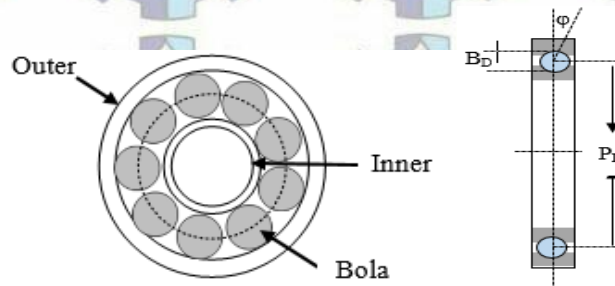
fr : frekuensi rotor

P : jumlah kutub

S : Slip

2.2 Bearing

Bearing merupakan komponen motor induksi yang berfungsi untuk mengurangi gesekan pada kedudukan elemen berputar yang disebut rotor. Ada berbagai macam jenis bearing, namun yang umum digunakan adalah bearing jenis bola. Konstruksi bearing terdiri dari *outer-race*, *inner-race* dan bola bearing seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3. Elemen bearing merupakan salah satu komponen penting dalam mesin listrik sehingga dapat mengakibatkan timbulnya permasalahan jika bearing tersebut mengalami kerusakan [4]. Penelitian tentang deteksi kerusakan bearing pada motor induksi ini telah banyak dilakukan.



Gambar 2.3 Konstruksi Bearing Motor Induksi [4]

Kerusakan bearing menyebabkan rotor asimetri dengan stator sehingga timbul vibrasi pada rotor. Vibrasi tersebut menyebabkan terbentuknya frekuensi harmonisa pada arus masukan stator. Persamaan karakteristik frekuensi getaran untuk kerusakan bearing dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$f_{OD} = \frac{n}{2} f_{rm} \left(1 - \frac{B_D}{P_D} \cos \varphi \right) \quad (2.4)$$

$$f_{ID} = \frac{n}{2} f_{rm} \left(1 - \frac{B_D}{P_D} \cos \varphi \right) \quad (2.5)$$

$$f_{BD} = \frac{P_D}{2B_D} \left(1 - \left(\frac{B_D}{P_D} \right)^2 \cos^2 \varphi \right) \quad (2.6)$$

dimana:

f_{OD} : frekuensi kerusakan pada *outer-race*

f_{ID} : frekuensi kerusakan pada *inner-race*

f_{BD} : frekuensi kerusakan pada bola bearing

n : jumlah bola bearing

f_{rm} : putaran rotor perdetik

BD : diameter bola bearing

PD : diameter cage bearing

Deteksi kerusakan bearing dengan analisa arus telah banyak dilakukan. Pada penelitian [2] membatasi permasalahan pada kerusakan bearing jenis *oute-race* dengan analisa arus dalam kondisi tunak dan pada kondisi transien. Sedangkan dalam penelitian [4] kerusakan bearing yang dideteksi adalah *outer-race* dan *inner-race* bearing, sedangkan kerusakan pada bola bearing tidak dibahas.

2.3 Transformasi Wavelet Diskrit

Dalam penelitian [1][5], untuk mendeteksi kerusakan bearing menggunakan analisa data pada saat sinyal arus dalam kondisi tunak. Analisa arus yang digunakan untuk mendeteksi kerusakan bearing ini adalah dengan menggunakan *Fast Fourier Transform*[2][5]. Analisa sinyal arus transien pada kerusakan motor adalah penelitian untuk mendeteksi kerusakan pada rotor bar [6], sehingga dalam penelitian yang akan dilakukan, analisa arus yang digunakan adalah sinyal arus pada saat kondisi transien dengan metode transformasi wavelet.

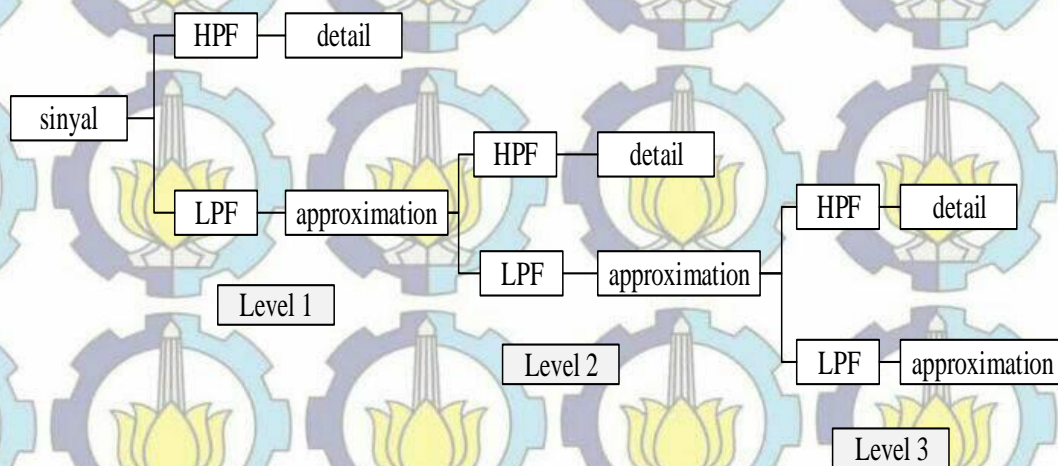
Metode transformasi wavelet memberikan kinerja yang lebih baik dibandingkan transformasi fourier dalam analisis transien. Dengan membandingkan sub-bands frekuensi pada saat sebelum terjadi kerusakan dan setelah terjadi kerusakan dapat mengidentifikasi efek resonansi frekuensi ketika kondisi transien [7]. Kemampuan wavelet untuk fokus pada interval waktu yang pendek pada frekuensi tinggi dan interval waktu yang panjang pada frekuensi rendah dapat mempermudah analisa sinyal [10].

Wavelet merupakan gelombang mini (*small wave*) yang mempunyai kemampuan mengelompokkan energi citra dan terkonsentrasi pada sekelompok

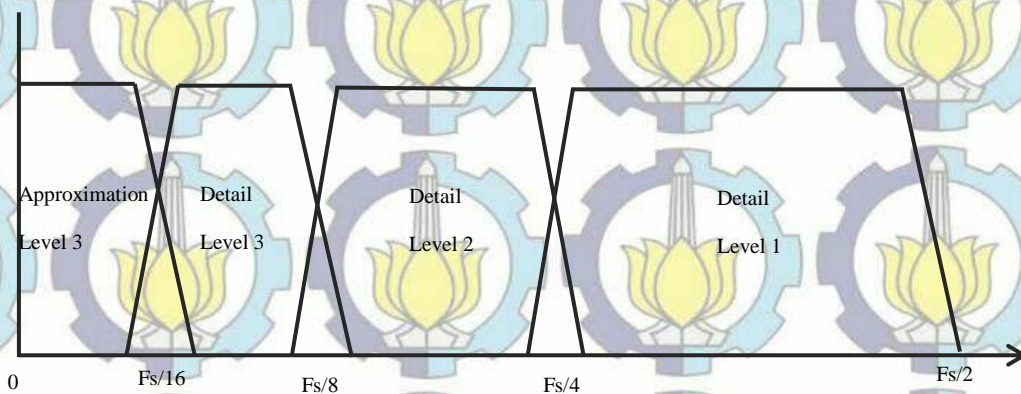
kecil koefisien, sedangkan kelompok koefisien lainnya hanya mengandung sedikit energi yang dapat dihilangkan tanpa mengurangi nilai informasinya [12]

Transformasi wavelet diskrit akan mengubah sinyal sumber menjadi dua klasifikasi sinyal yaitu frekuensi tinggi (*coefficient detail*) dengan resolusi waktu yang tinggi serta frekuensi rendah (*coefficient aproximation*) dengan resolusi frekuensi tinggi. Proses transformasi wavelet diskrit ini diawali dengan proses *filtering* dengan melewati sinyal pada frekuensi *highpass filter* dan *lowpass filter*. Kemudian dilanjutkan dengan operasi *sub-sampling* dengan mengambil masing-masing setengah dari keluaran filter dari hasil *coefficient aproximation*. Kedua proses tersebut dinamakan proses dekomposisi. Proses dekomposisi ini dapat dilakukan secara berlanjut hingga didapatkan tingkat dekomposisi yang diinginkan. Tingkat dekomposisi yang diinginkan disesuaikan dengan prediksi sinyal yang akan dianalisa.

Pada Gambar 2.3 dijelaskan mengenai *approximation coefficient* sebagai sinyal sumber (*mother wavelet*) diklasifikasikan melalui *high-pass filter* dan *low-pass filter*. Proses transfer ini kemudian dilanjutkan dengan proses *downsampling* pada *approximation coefficient* sehingga didapatkan *detail coefficient* untuk *high-pass filter* dan *approximation coefficient* untuk *low-pass filter* hingga level dekomposisi terakhir.



Gambar 2.4 Dekomposisi Wavelet [6]



Gambar 2.5 Klasifikasi Dalam Wavelet Untuk Tiga Level Dekomposisi

2.3.1 Wavelet daubechies

Daubechies memiliki orde yang menggambarkan jumlah koefisien filternya. Semakin besar jumlah filter yang dimiliki oleh suatu wavelet filter daubechies, maka semakin baik filter tersebut dalam pemilihan frekuensi. Wavelet daubechies memiliki nama pendek db, dan untuk orde N dituliskan dengan dbN . Panjang wavelet daubechies adalah $2N$. Wavelet daubechies dipilih karena dapat digunakan untuk mengolah sinyal arus hasil pengukuran yang bersifat asimetri.

Berikut adalah spesifikasi wavelet daubechies yang digunakan dalam penelitian ini:

Tabel 2.1 Spesifikasi Wavelet

Spesifikasi	
Jenis	Daubechies
Orde	4
Level dekomposisi	7
Frekuensi sampling	25.000 Hz

2.3.2 Power detail density (PDD)

Power detail density dapat diperoleh dengan mengkuadratkan setiap koefisien detail *high pass filter*. Energi diperoleh dengan cara menjumlahkan kuadrat detail dari setiap level dekomposisi. Discrete wavelet transform menunjukkan variasi

amplitudo harmonisa dan lokasinya, sehingga tepat untuk sinyal non stasioner. Power detail density dapat dipresentasikan dengan persamaan 2.9

$$Energi = \sum_{d_0}^{d_1} f(HPF)_n^2 \quad (2.1)$$

dengan :

d_1 = range akhir dari jumlah data

d_0 = range awal dari jumlah data

$f(HPF)_n$ = frekuensi high pass filter atau sinyal detail

n = level sinyal detail

2.4 Jaringan Saraf Tiruan

Dalam penelitian yang akan dilakukan ini menggunakan analisa jaringan saraf tiruan sebagai pembaca data dan pemberi informasi jenis kerusakan bearing. Jaringan saraf tiruan merupakan salah satu cabang ilmu yang dikenalkan oleh McCulloch-pitts (1943) dengan teorinya dalam *A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity* dan Donald Hebb (1949) tentang *organization of behavior* dan Resenblatt (1958) tentang perceptron [9]. Berdasarkan teori-teori tersebut, jaringan saraf tiruan berkembang pesat dan digunakan dalam berbagai bidang ilmu.

Jaringan saraf tiruan mengadopsi dari kemampuan otak manusia yang mampu memberikan stimulasi atau rangsangan, melakukan proses dan memberikan output [8]. Kinerja struktur jaringan saraf biologi dalam menyampaikan sinyal dari suatu neuron ke neuron yang lain berubah-ubah sesuai dengan kondisi dan bentuk sinyal yang diterima oleh neuron yang selanjutnya diteruskan ke neuron yang berdekatan serta berkesesuaian. Hal yang sama berlanjut untuk neuron berikutnya sampai pada neuron terakhir yang dikehendaki oleh sinyal tersebut. Kinerja struktur jaringan saraf biologi inilah yang dikembangkan dalam bentuk matematis dan kemudian direalisasikan kedalam program komputer [9].

Fungsi dari jaringan saraf tiruan ini adalah sebagai pengklasifikasian pola, menentukan pola yang didapat dari input kedalam pola baru pada output, menyimpan pola yang akan dipanggil kembali, memetakan pola-pola yang sejenis

serta pengoptimasi permasalahan atau prediksi [8]. Sebuah jaringan dapat dilatih dengan data historis untuk melakukan fungsi yang diinginkan dengan menyesuaikan bobot dari koneksi sehingga output sesuai dengan input. Satu set neural digabungkan dalam lapisan dan jaringan yang terdiri dari lapisan tunggal atau ganda [11]. Jaringan saraf tiruan dalam penelitian ini digunakan untuk mengenali kondisi bearing, yaitu kondisi pada saat adanya kerusakan pada *outer-race*, *inner-race* atau bola bearing.

2.4.1 Fungsi Aktivasi

Jaringan syaraf memiliki beberapa neuron yang saling terhubung. Neuron-neuron tersebut mentransformasikan informasi yang diterima melalui sambungan keluarnya menuju ke neuron-neuron yang lain. Pada jaringan syaraf, hubungan ini dikenal dengan nama bobot [13]. Informasi yang disebut dengan input akan dikirim ke neuron dengan bobot kedatangan tertentu yang akan diproses oleh suatu fungsi perambatan yang menjumlahkan nilai-nilai bobot yang datang. Melalui fungsi aktivasi setiap neuron, hasil penjumlahan tersebut dibandingkan dengan nilai ambang (treshold). Neuron akan diaktifkan apabila melewati nilai ambang tertentu, sebaliknya jika tidak maka neuron tidak akan diaktifkan. Jika neuron aktif maka akan mengirimkan output melalui bobot-bobot outputnya ke semua neuron yang terhubung.

Pada jaringan syaraf, neuron dikumpulkan dalam lapisan-lapisan (layer) yang dinamakan dengan lapisan neuron (neuron layer). Neuron-neuron pada satu lapisan dihubungkan dengan neuron sebelum dan sesudahnya kecuali lapisan input dan lapisan output. Informasi dari lapisan input dirambatkan ke lapisan output melalui lapisan tersembunyi (hidden layer).

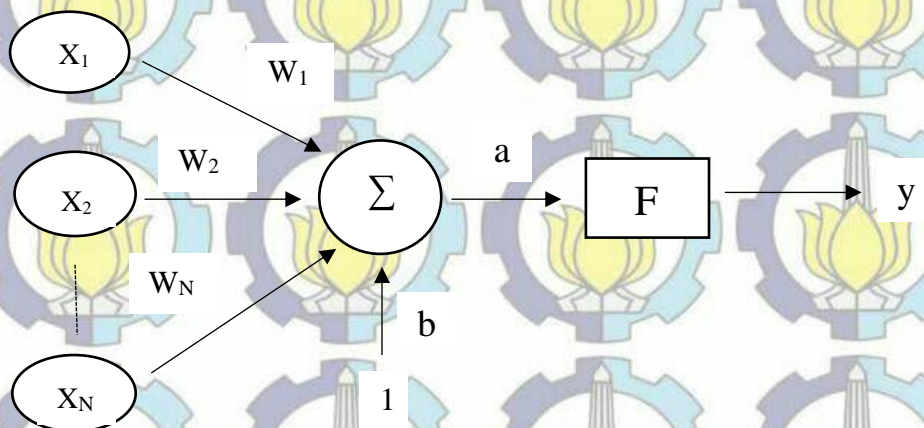
Ada beberapa fungsi aktivasi yang sering digunakan dalam jaringan syaraf tiruan antara lain:

1. Fungsi undak biner (hardim)
2. Fungsi bipolar (hardims)
3. Fungsi linear (purelin)
4. Fungsi saturating linear (satlin)

5. Fungsi symetric saturating (linear satlins)
6. Fungsi sigmoid biner (logsig)
7. Fungsi sigmoid bipolar (tansig)

Pada gambar 2.6 sebuah neuron akan mengolah N input (X_1, X_2, \dots, X_N) yang masing-masing memiliki bobot W_1, W_2, \dots, W_N dan bobot bias b , dengan rumus:

$$a = \sum_{i=1}^N x_i w_i \quad (2.2)$$



Gambar 2.6 Fungsi Aktivasi Pada Jaringan Syaraf Sederhana [13]

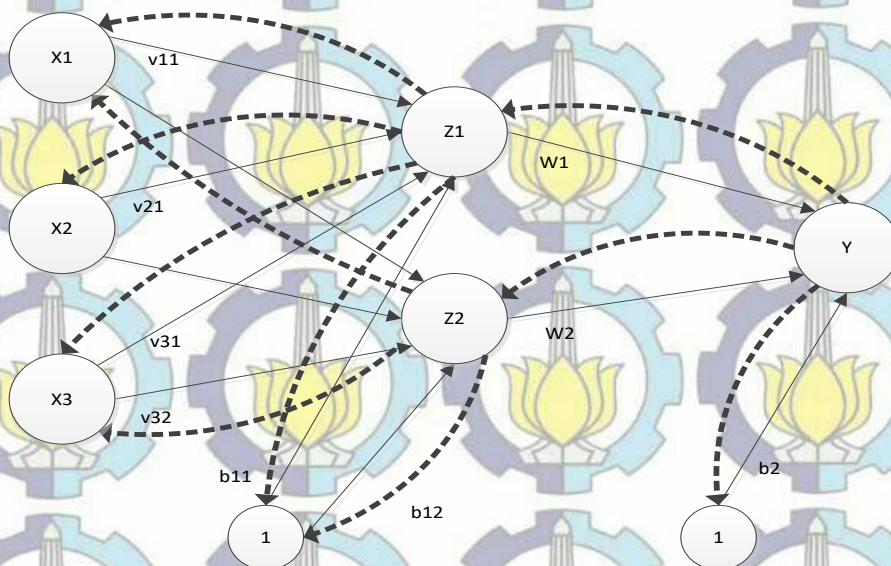
2.4.2 Backpropagation

Backpropagation memiliki banyak lapisan untuk mengubah bobot-bobot yang terhubung dengan neuron-neuron yang teradapat pada lapisan tersembunyinya. Gambar 2.6 memperlihatkan arsitektur jaringan backpropagation. Pada gambar 2.6, lapisan inputnya memiliki 3 unit neuron yaitu x_1, x_2 dan x_3 sedangkan satu lapisan tersembunyinya memiliki dua neuron yaitu z_1 dan z_2 serta satu unit pada lapisan output yaitu y .

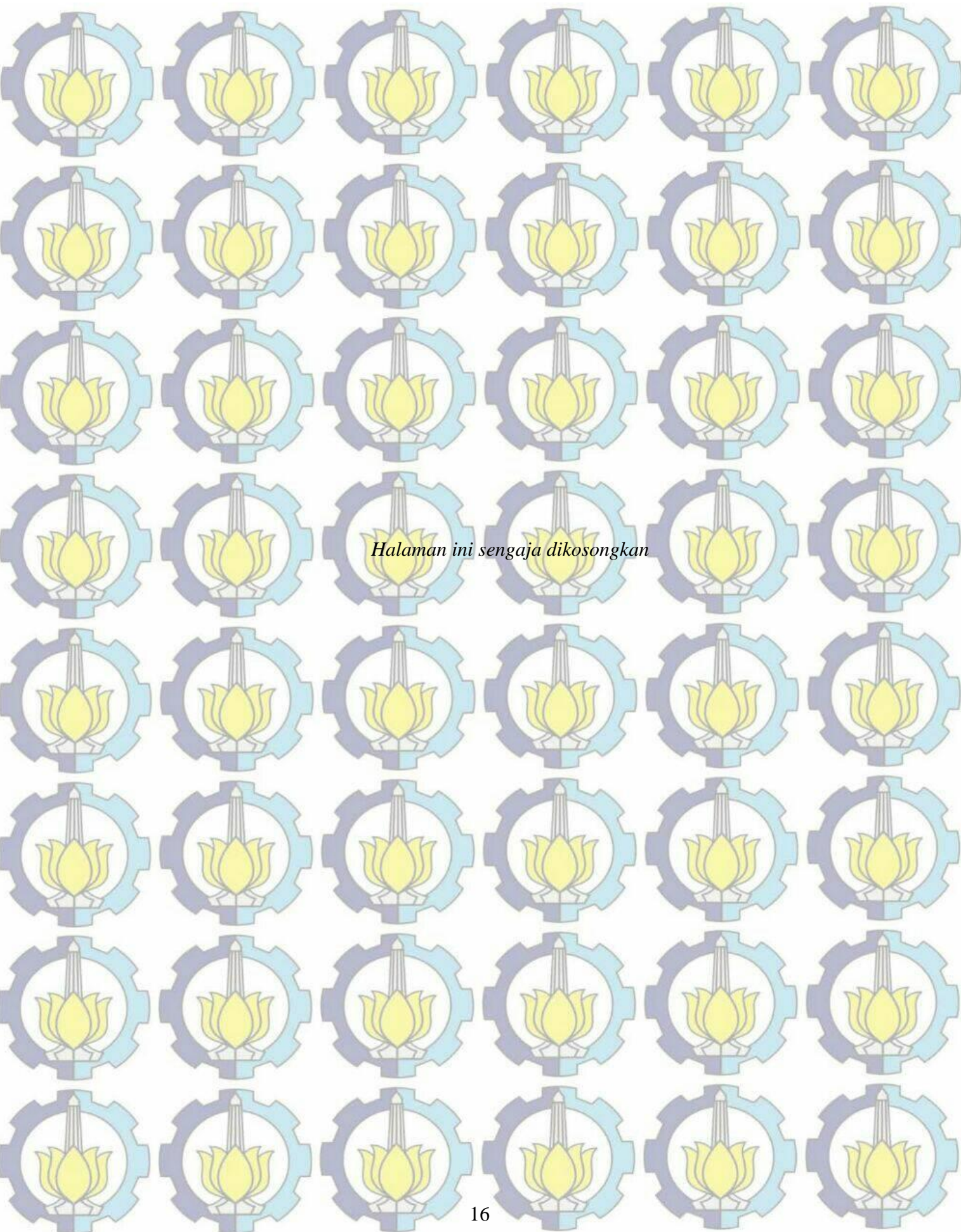
Bobot yang menghubungkan x_1, x_2 dan x_3 dengan neuron pertama pada lapisan tersembunyi adalah v_{11}, v_{21} dan v_{31} . Sedangkan b_1 dan b_2 adalah bobot bias yang menuju ke neuron pertama dan kedua pada lapisan tersembunyi. Bobot

yang menghubungkan z_1 dan z_2 dengan neuron pada lapisan output adalah w_1 dan w_2 . Bobot bias b_2 menghubungkan lapisan tersembunyi dengan lapisan output.

Backpropagation ini merupakan algoritma propagasi balik karena ketika jaringan syaraf tiruan diberikan pola masukan sebagai pola pelatihan maka pola tersebut akan menuju ke lapisan tersembunyi untuk diteruskan ke lapisan keluaran. Selanjutnya unit-unit yang ada pada lapisan keluaran memberikan respon yang disebut keluaran (output). Apabila keluaran jaringan syaraf tiruan tidak sama dengan keluaran yang diharapkan maka keluaran akan disebarkan mundur (backward) pada lapisan tersembunyi yang kemudian diteruskan ke lapisan masukan.



Gambar 2.7 Arsitektur Jaringan Backpropagation [9]

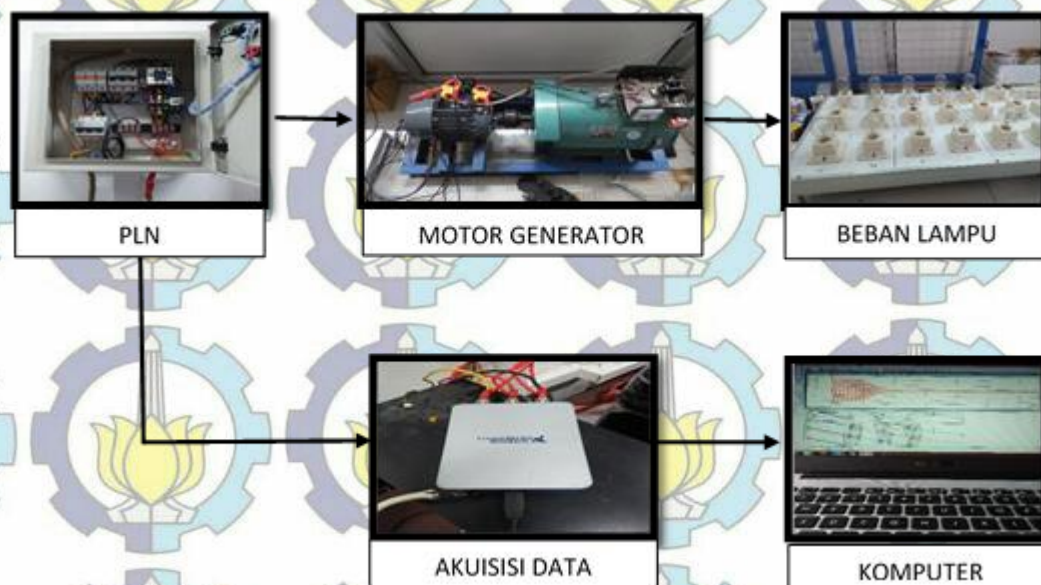


BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Konfigurasi Sistem

Sistem deteksi kerusakan bearing dalam penelitian ini adalah dengan menganalisa kondisi arus mula pada saat transien. Data sinyal arus pada saat starting diambil ketika kondisi tidak berbeban dan ketika diberikan beban dengan variasi pembebanan. Pengambilan data sinyal arus ini dilakukan pada kondisi sebelum rekonstruksi kerusakan dan setelah rekonstruksi kerusakan pada bearing. Untuk konfigurasi sistem dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.

Akuisisi data merupakan proses pengolahan sinyal dengan metode transformasi wavelet diskrit. Data sinyal yang diperoleh dikelompokkan menjadi beberapa sinyal frekuensi yang berbeda oleh wavelet. Sinyal frekuensi yang berbeda tersebut akan dianalisa oleh jaringan saraf tiruan. Jaringan saraf tiruan ini akan mempelajari jenis kerusakan berdasarkan analisa frekuensi yang diberikan oleh wavelet. Sehingga kerusakan bearing dapat dideteksi berdasarkan informasi jenis kerusakan yang telah dianalisa oleh jaringan saraf tiruan.



Gambar 3.1 Konfigurasi Sistem Kerusakan Bearing

Pada penelitian ini digunakan motor induksi tiga fasa dengan kapasitas 2HP. Pembebanan mekanis dalam penelitian ini berupa generator sinkron yang terkopel dengan motor. Sedangkan untuk beban listrik menggunakan beban lampu yang disesuaikan dengan persentase pembebanan yaitu sebesar 25%, 50%, 75% dan 100%. Berikut ini adalah data parameter dan gambar untuk motor induksi tiga fasa, generator sinkron dan data akuisitor.



Gambar 3.2 Motor Induksi 3 Fasa

Tabel 3.1 Data Motor Induksi Tiga Fasa

Parameter	Nilai
Merk	Tatung
Model	FBFC
Frame	D90L
Daya rating	1.5 KW/2 HP
Jumlah pole	4
Tegangan rating	220/380
Arus rating	5.94/3.44
Frekuensi	50 Hz
Isolasi	F
Kecepatan rating	1380 rpm
Ambient	40° c
F.I. Efisiensi	78.6 %
F.I. Input	1.91 kw



Gambar 3.3 Generator Sinkron

Tabel 3.2. Data Generator Sinkron Tiga Fasa

Parameter	Nilai
Merk	Shantou
Tipe	GTH – 5 TH
No.	929
Daya rating	5 KW
Jumlah pole	4
Tegangan rating	400 V
Arus rating	9.02
Frekuensi	50 Hz
Tipe Isolasi	E/B
Kecepatan rating	1500 rpm
Faktor daya	0.8



Gambar 3.4 Alat akuisisi cdaq9171

Tabel 3.3. Data cDAQ 9171

Parameter	Nilai
Merk	National Instruments
Part Number	195724C-01L
Jumlah Slot	1
Total Daya	2.6 W
Range Tegangan Input	4.75 V 5.25 V
Counters	4
Resolusi	32bit

Setelah perancangan sistem konfigurasi dan peralatan disiapkan selanjutnya dilakukan langkah-langkah pengujian sebagai berikut:

1. Siapkan semua peralatan seperti pada Gambar 3.1
2. Hubungkan peralatan ke sumber
3. Untuk mendapatkan sinyal arus stiring, peralatan akuisisi data harus aktif terlebih dahulu sebelum motor dinyalakan.
4. Lakukan pengukuran untuk kondisi motor normal dengan pembebanan 0%, 25%, 50%, 75% dan 100%.
5. Ulangi langkah 4 dengan pembebanan yang sama pada kondisi kerusakan *inner-race* bearing 1mm, 2mm, 3mm, 4mm dan 5mm.
6. Lakukan langkah yang sama seperti langkah 5 untuk kondisi kerusakan *outter-race* bearing 1mm, 2mm, 3mm, 4mm, 5mm.
7. Lakukan langkah yang sama seperti langkah 5 untuk kondisi kerusakan *ball* bearing (1bola, 2bola, 3bola).

Proses pengambilan data dalam penelitian ini adalah dengan mengambil sampling arus dengan menggunakan DAQ yang terhubung antara sumber tegangan PLN dan motor induksi. Arus disampling pada frekuensi 25000 Hz selama 5 detik sehingga diperoleh sinyal arus sebanyak 25000 sample dengan waktu 0,02 ms tiap sample.

Proses sampling pada DAQ ini diatur melalui software LabVIEW dengan keluaran sampling dalam bentuk file TDMS (*Technical Data Management*

Streaming). Sinyal sampling dalam bentuk file tdms tersebut bisa dibaca dengan menggunakan software DIAdem. Dengan software diadem, tampilan sinyal hasil proses sampling dapat diatur sesuai dengan sampling yang dibutuhkan. Selain itu diadem dapat digunakan untuk mengubah file tdms ke bentuk file.xlsx yang digunakan sebagai input pada software matlab untuk proses analisa selanjutnya.

3.2 Konstruksi Kerusakan Bearing

Rekonstruksi kerusakan bearing dalam penelitian ini adalah dengan memberikan kerusakan atau kecacatan pada bagian bearing. Kerusakan ini dibagi menjadi beberapa tingkatan. Hal ini dilakukan dengan membuat lubang berdiameter 1mm hingga 5mm pada *outer-race*, *inner-race* dan bola bearing. gambaran rekonstruksi kerusakan bearing dapat dilihat pada Gambar 3.2 sampai dengan 3.4

Adanya variasi dalam rekonstruksi kerusakan bearing ini adalah untuk memperoleh data dengan tingkatan yang terukur sehingga mempermudah analisa. Meskipun dalam kenyataan, kerusakan bearing yang sering terjadi dilapangan tidak bisa ditentukan besarnya.

Untuk rekonstruksi kerusakan pada bearing dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3.4 Rekonstruksi Kerusakan Bearing

Jenis Kerusakan	Variasi
Bola bearing	1 bola, 2 bola, 3 bola
Inner-race	1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm, 5 mm
Outer-race	1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm, 5 mm



Gambar 3.5 Rekonstruksi Kerusakan pada *Outer-Race* Bearing



Gambar 3.6 Rekonstruksi Kerusakan pada Bola Bearing



Gambar 3.7 Rekonstruksi Kerusakan pada *Inner-Race* Bearing

3.3 Pengujian Dengan Variasi Beban

Pada semua rekonstruksi bearing digunakan pembebanan yang sama namun dengan pembebanan yang bervariasi. Variasi pembebanan dengan rekonstruksi bearing ini diharapkan agar data yang akan dianalisa menjadi lebih detail. Perbedaan jumlah data ini akan menjadi dasar dalam analisa pengklasifikasian jenis kerusakan bearing.

Tabel 3.5 Data Pembebanan

Beban (%)	Arus Beban (A)	Daya Beban (Watt)	Keterangan Beban
0	1,7	110	Motor
25	1,87	545	Generator
50	2,04	980	Gen + (Lamp 4x25W)+(Lamp 5x60W)
75	2,21	1305	Gen + (Lamp 5x25W)+(6X60W)+(2x100W)
100	2,38	1850	Gen + (Lamp 6x25W) + (Lamp 5x60W)+ (Lamp 7x100w)

Tabel 3.6 Data Pengujian

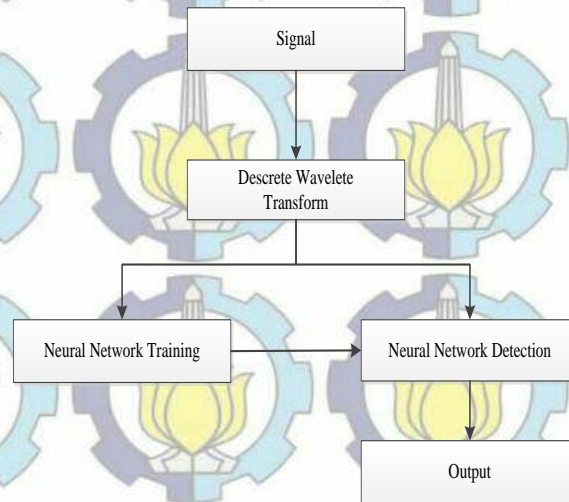
Kasus	Variasi Kasus	Pembebanan (%)	Jumlah
Normal	-	0; 25; 50; 75; 100;	5
Kerusakan Inner-Race	1mm; 2mm; 3mm; 4mm; 5mm.	0; 25; 50; 75; 100;	25
Kerusakan Outer-Race	1mm; 2mm; 3mm; 4mm; 5mm.	0; 25; 50; 75; 100;	25
Kerusakan Bola	1 bola; 2 bola; 3 bola	0; 25; 50; 75; 100;	15
Total			70

3.4 Perancangan Sistem Pengolahan Data

Dalam penelitian ini, deteksi kerusakan bearing menggunakan metode transformasi wavelet diskrit dan jaringan saraf tiruan. Sub-band frekuensi sesudah dan sebelum kerusakan dibandingkan untuk mendiagnosa kerusakan. Setelah kerusakan dapat dideteksi dengan pengklasifikasian berdasarkan jenis kerusakan, jaringan saraf tiruan membaca data dari transformasi wavelet dan memberikan informasi berdasarkan jenis kerusakan tersebut.

Dalam proses pengambilan data, data yang dijadikan sebagai acuan adalah data pada saat arus transien atau data starting. Data diambil dengan dua kondisi yaitu ketika motor dalam keadaan sehat atau tanpa kerusakan bearing dan ketika motor dalam kondisi rusak yaitu ketika terjadi kerusakan bearing.

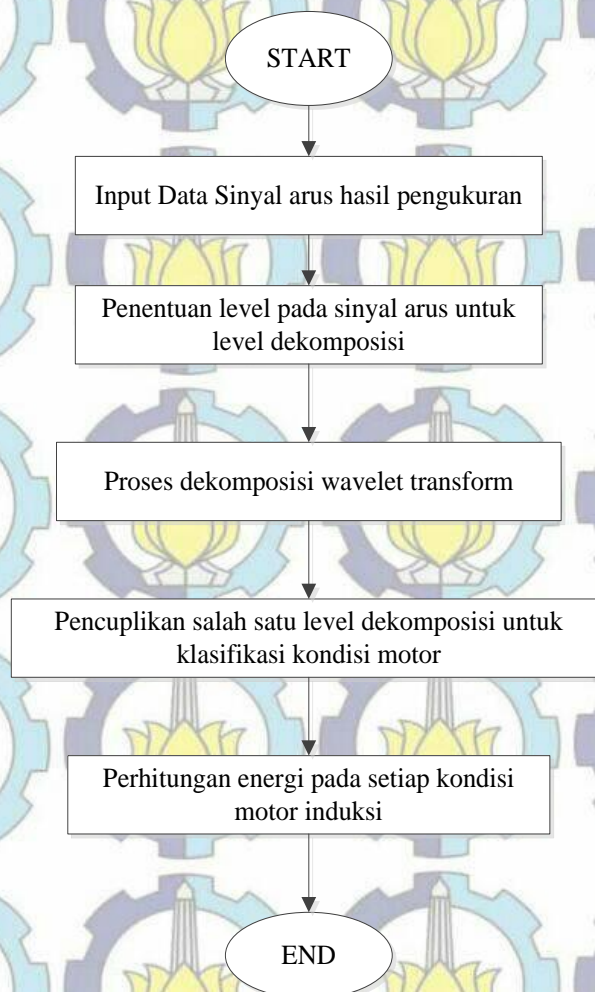
Skema pengolahan data atau pengolahan sinyal dapat dilihat pada Gambar 3.8 berikut:



Gambar 3.8 Skema Pengolahan Data

3.4.1 Transformasi Wavelet Diskrit

Transformasi wavelet diskrit diperlukan untuk mengolah sinyal arus hasil pengukuran sehingga dapat dideteksi kondisi bearing pada motor induksi dalam keadaan normal atau mengalami kerusakan. Transformasi wavelet diskrit akan berusaha mendapatkan fungsi waktu dan skala melalui proses sampling dan penggunaan filter digital atau dinamakan dekomposisi. Dekomposisi merupakan proses pemecahan sinyal dengan menggunakan fungsi highpass dan lowpass filter, modifikasi sinyal berdasarkan fungsi skala dan waktu, rekonstruksi sinyal pada setiap level koefisiennya. Pada penelitian ini, kondisi kerusakan dapat dibedakan dari bentuk ripple pada dekomposisi kelima.



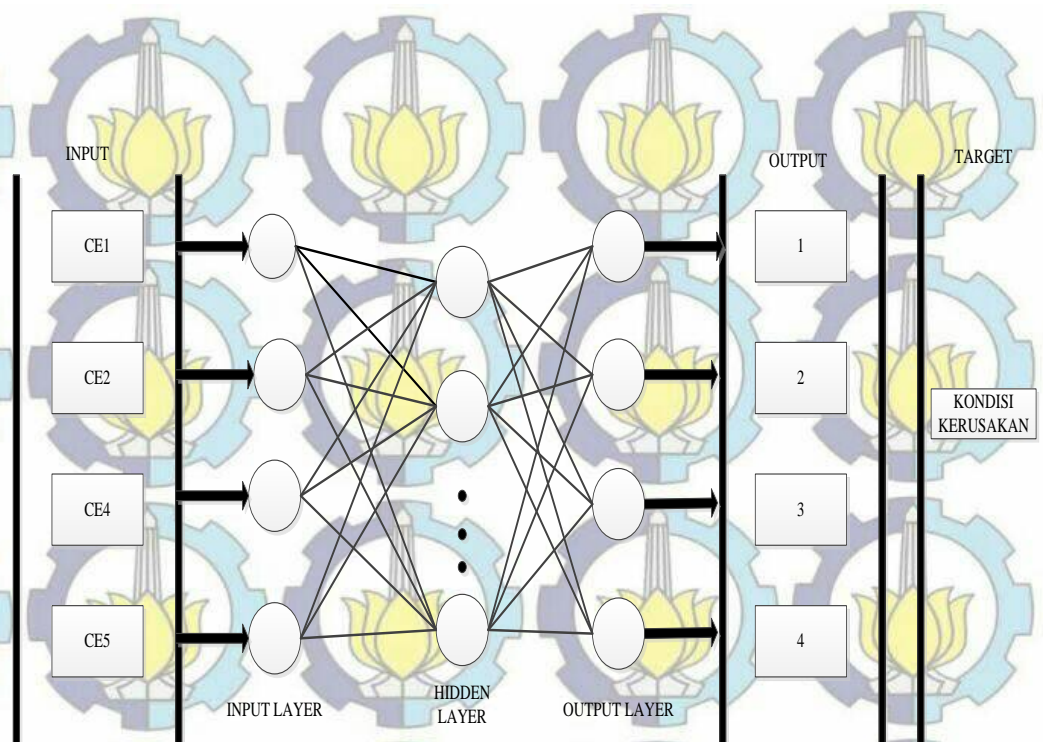
Gambar 3.9 Diagram Alur Transformasi Wavelet Diskrit

3.4.2 Jaringan Saraf Tiruan

Jaringan saraf tiruan dalam penelitian ini digunakan sebagai pengklasifikasian kerusakan. Hasil dari energi pada transformasi wavelet diskrit digunakan sebagai input data pada jaringan saraf tiruan. Jaringan saraf tiruan yang digunakan pada penelitian ini adalah backpropagation.

Langkah untuk perancangan pengklasifikasian kerusakan menggunakan backpropagation :

1. Variable input untuk pelatihan jaringan saraf tiruan
 - a. Data motor normal
 - b. Data motor rusak



Gambar 3.10 Arsitektur Jaringan Saraf Tiruan Untuk Penelitian

2. Variable target

Variabel target dari jaringan saraf tiruan ini adalah kondisi normal dan jenis kerusakan (*inner race*, *outter race* dan *ball bearing*)

Proses dan algoritma jaringan syaraf tiruan dalam mempelajari input dan output dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Data pelatihan

- a. Pada penelitian ini terdapat empat data pelatihan sebagai input yaitu CE1, CE2, CE4 dan CE5 serta empat data target yaitu normal, *outter race*, *inner race* dan *ball bearing*.
- b. Data pelatihan yang digunakan adalah 80% dari 350 data keseluruhan

2. Arsitektur JST

Penelitian menggunakan MLP (*multi layer perceptron*) dalam arsitektur jaringannya dengan tiga lapisan, yaitu satu lapisan input, satu lapisan tersembunyi dan satu lapisan output.

- a. Sebelum melakukan proses data input dan target, dilakukan proses normalisasi pada range tertentu dengan bantuan mean dan deviasi standart. Fungsi *prestd* akan membawa data kebentuk normal dengan mean = 0 dan deviasi = 1

b. Fungsi aktivasi yang digunakan adalah

- Tan sigmoid (lapisan tersembunyi)

$$y = f(net) = \frac{1 - e^{-2net}}{1 + e^{-2net}} \quad (3.1)$$

- Pure linear (lapisan keluaran)

$$y = f(net) = net \quad (3.2)$$

c. Pembagian data pelatihan dan pengujian

- Data pelatihan = 80%
- Data pengujian = 20%

d. Pengaturan parameter pelatihan

- Jumlah neuron lapisan masukan (input) = 4
- Jumlah neuron lapisan tersembunyi = dilakukan train and error hingga diperoleh MSE paling baik 1 sampai 10 neuron
- Jumlah neuron lapisan output = 4
- Error goal = 10^{-7}
- Algoritma pelatihan = conjugate gradient
- Jumlah iterasi maksimum = 1000

3. Proses pembelajaran pelatihan

- Inisialisasi bobot (diambil bobot awal dengan nilai random terkecil)
- Tetapkan maksimum Epoch, target error, dan learning rate (α)
- Inisialisasi Epoch = 0, MSE = 1
- Langkah-langkah selama (Epoch < maksimum epoch) dan (MSE > target error)

1. Epoch = epoch + 1

2. Untuk tiap-tiap pasangan elemen yang akan dilakukan pembelajaran:

Feedforward

- Tiap input (X_j , $i = 1, 2, 3, 4 \dots n$) menerima signal x_i dan meneruskan signal tersebut ke setiap unit lapisan tersembunyi.
- Tiap unit pada lapisan tersembunyi (Z_i , $j = 1, 2, 3 \dots p$) menjumlahkan sinyal input terbobot:

$$zin_j = b1_j + \sum_{i=1}^n x_i v_{ij} \quad (3.3)$$

Dengan menggunakan fungsi aktivasi tansig (3.1) untuk menghitung sinyal outputnya.

- c. Tiap unit output (Y_k $k = 1, 2, 3 \dots m$) menjumlahkan sinyal input terbobot:

$$y_{in_k} = b_{2_k} + \sum_{i=1}^p z_i v_{jk} \quad (3.4)$$

Gunakan fungsi aktivasi purelin (3.2) untuk menghitung sinyal outputnya.

Backpropagation

- d. Tiap unit output (Y_k $k = 1, 2, 3 \dots m$) menerima target pola yang berhubungan dengan pola input, hitung informasi errornya:

$$\delta 2_k = (t_k - y_k) f'(y_{in_k}) \quad (3.5)$$

$$\phi 2_{jk} = \delta_k z_j \quad (3.6)$$

$$\beta 2_k = \delta_k \quad (3.7)$$

Setelah itu hitung koreksi bobot yang nantinya akan digunakan untuk memperbaiki nilai W_{jk} :

$$\Delta W_{jk} = \alpha \phi 2_{jk} \quad (3.8)$$

Juga hitung koreksi bias (yang akan digunakan untuk memperbaiki nilai b_{2_k} nantinya):

$$\Delta b_{2_k} = \alpha \beta 2_k \quad (3.9)$$

- e. Tiap unit tersembunyi (Z_j , $j = 1, 2, 3, \dots, p$) menjumlahkan delta inputnya (dari unit yang berada pada lapisan diatasnya):

$$\delta_{in_j} = \sum_{k=1}^m \delta 2_k w_{jk} \quad (3.10)$$

Kalikan ini dengan turunan dari fungsi aktivasinya untuk menghitung informasi error.

$$\delta 1_j = \delta_{in_j} f'(z_{in_j}) \quad (3.11)$$

$$\phi 1_{ij} = \delta 1_j x_j \quad (3.12)$$

$$\beta 1_j = \delta 1_j \quad (3.13)$$

Kemudian hitung koreksi bobot (yang nantinya akan digunakan untuk memperbaiki nilai v_{ij} :

$$\Delta v_{ij} = \alpha \phi_{1_{ij}} \quad (3.14)$$

Hitung juga koreksi bias (yang akan digunakan untuk memperbaiki nilai b_{1j} :

$$\Delta b_{1j} = \alpha \phi_{1_{ij}} \quad (3.15)$$

f. Tiap unit keluaran atau output (Y_k $k = 1,2,3,...,m$) memperbaiki bias dan bobotnya ($j = 1,2,3,...,p$):

$$w_{jk}(\text{baru}) = w_{jk}(\text{lama}) + \Delta w_{jk} \quad (3.16)$$

$$b_{2_k}(\text{baru}) = b_{2_k}(\text{lama}) + \Delta b_{2_k} \quad (3.17)$$

Tiap unit tersembunyi (Z_j , $j = 1,2,3,...,p$) memperbaiki bias dan bobotnya ($i = 1,2,3,...,n$):

$$v_{ij}(\text{baru}) = v_{ij}(\text{lama}) + \Delta v_{ij} \quad (3.18)$$

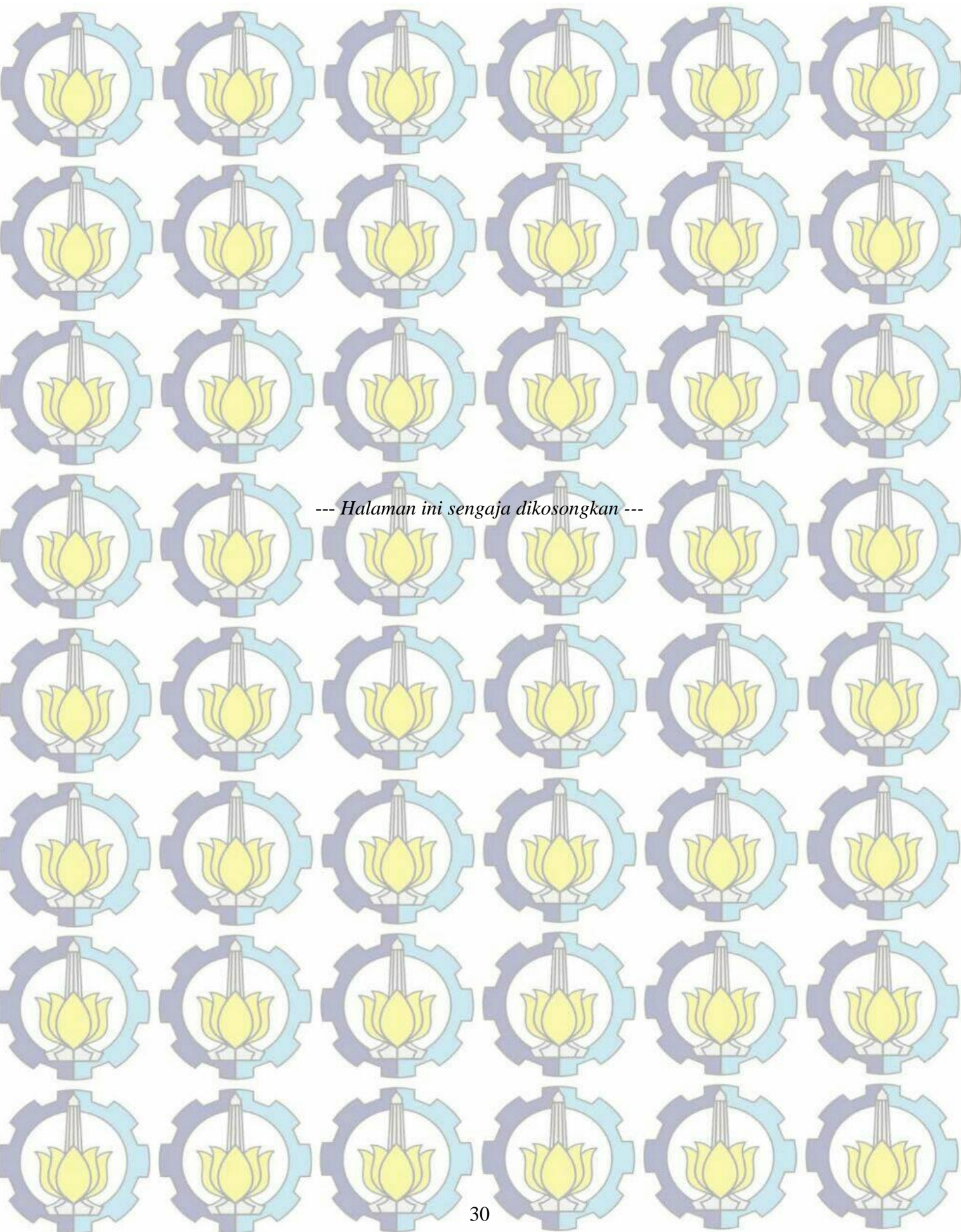
$$b_{1j}(\text{baru}) = b_{1j}(\text{lama}) + \Delta b_{1j} \quad (3.19)$$

3. Hitung MSE

4. Simpan data bobot dan bias dalam bentuk data.mat

4. Prosedur pengujian

- Nilai bobot dan bias hasil pelatihan dipanggil pada program pengujian dengan menggunakan nilai MSE terkecil
- Siapkan data yang akan diuji
- Keluaran (output) dari data pengujian adalah kondisi bearing yaitu dalam kondisi normal dan kerusakan
- Membandingkan nilai keluaran dari hasil pengujian dengan target awal pelatihan, jika data pengujian membaca data yang sama dengan data pelatihan maka target terpenuhi.
- Analisa hasil



BAB 4

HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA DATA

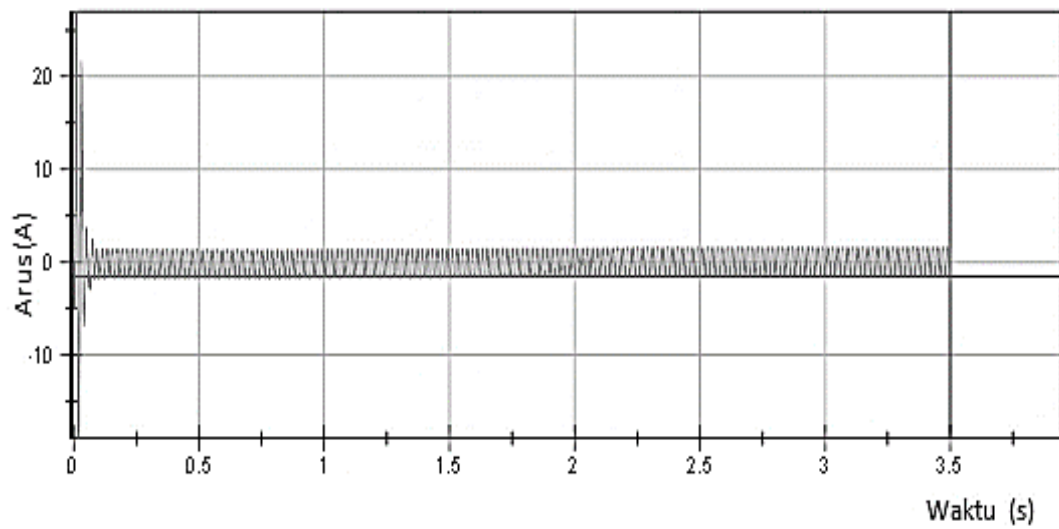
Bab ini membahas tentang uji dan analisis data pada bearing motor induksi. Pengujian dilakukan dengan bearing dalam kondisi normal dan dalam kondisi tidak normal. Dalam kondisi tidak normal, bearing diberi kecacatan dengan berbagai macam kondisi kerusakan seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Pengujian dilakukan pada saat starting motor dengan menggunakan cDAQ national instrument dan *software labview*. Setelah diperoleh data dari beberapa pengujian dengan kondisi bearing normal dan tidak normal dengan variasi pembebanan, selanjutnya data dianalisa dengan wavelet diskrit transformer dan jaringan saraf tiruan.

4.1 Akuisisi data

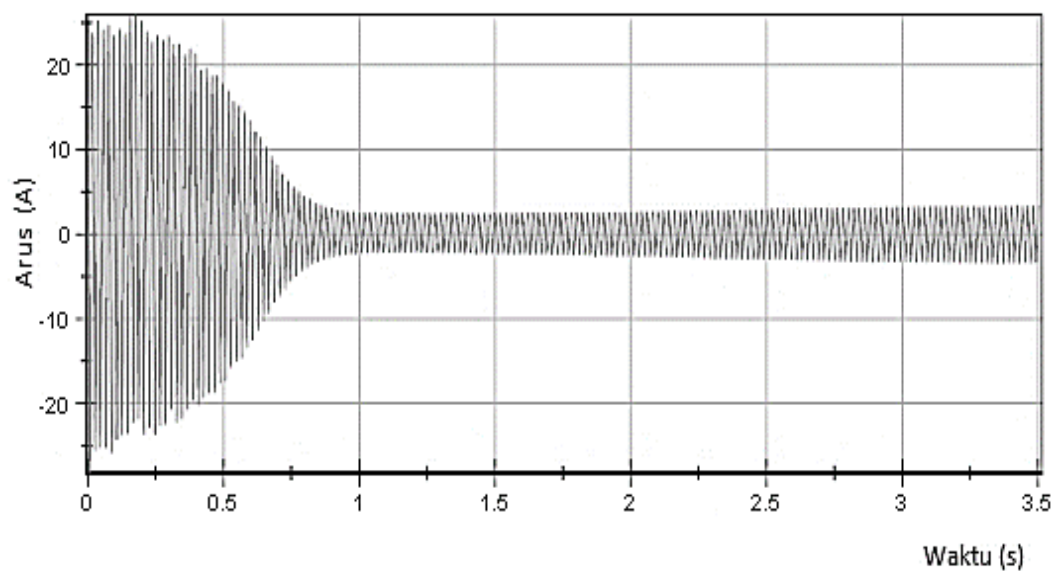
Dalam proses akuisisi data, sumber tegangan dari PLN yang masuk ke motor dihubungkan seri dengan DAQ. Karena arus yang akan dianalisa adalah arus starting, maka dikondisikan arus masuk ke DAQ terlebih dahulu sebelum arus suplai masuk ke motor. Arus suplai yang masuk disampling pada frekuensi 25.000 Hz selama 1 detik, sehingga diperoleh 25.000 sample dengan waktu 0,02 detik setiap sample. DAQ ini didukung dengan software Labview sebagai program utama untuk menampilkan dan memberikan perintah akuisisi data.

Pada labview terdapat *window front panel* dan *block diagram*. Block diagram ini digunakan untuk mengontrol front panel. Pada front panel terdapat *virtual instrument* untuk menjalankan program. Labview menghasilkan keluaran dalam bentuk file TDMS, sehingga dibutuhkan software DIAdem untuk menampilkan sinyal hasil sampling. DIAdem juga bisa mengubah file TDMS menjadi file .xls yang digunakan untuk proses analisa selanjutnya pada MATLAB . Karena dalam pengujian ini yang dianalisa adalah arus starting, maka perlu dilakukan pemotongan sinyal.

Untuk sinyal hasil sampling tanpa beban, kondisi steady state sudah dimulai pada saat 0,6 detik, namun untuk hasil sampling berbeban kondisi steady state dimulai saat 3,5 detik seperti yang terlihat pada gambar 4.1 (a) dan 4.1 (b).



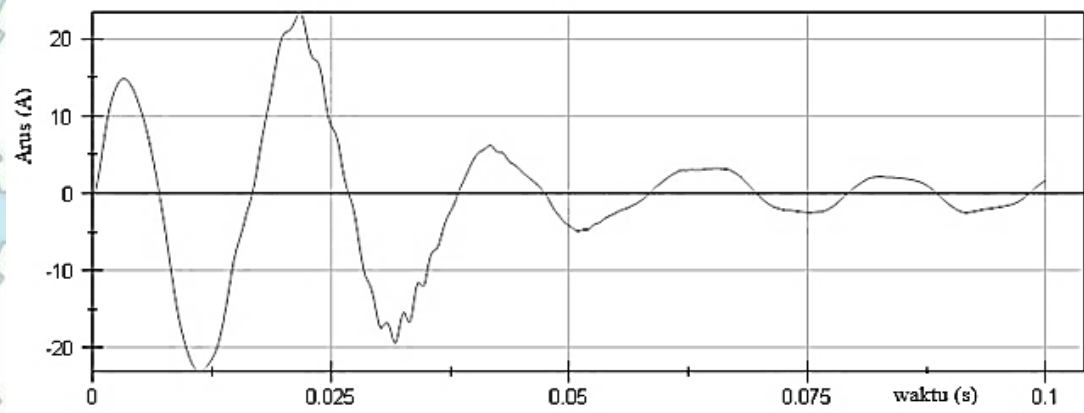
(a)



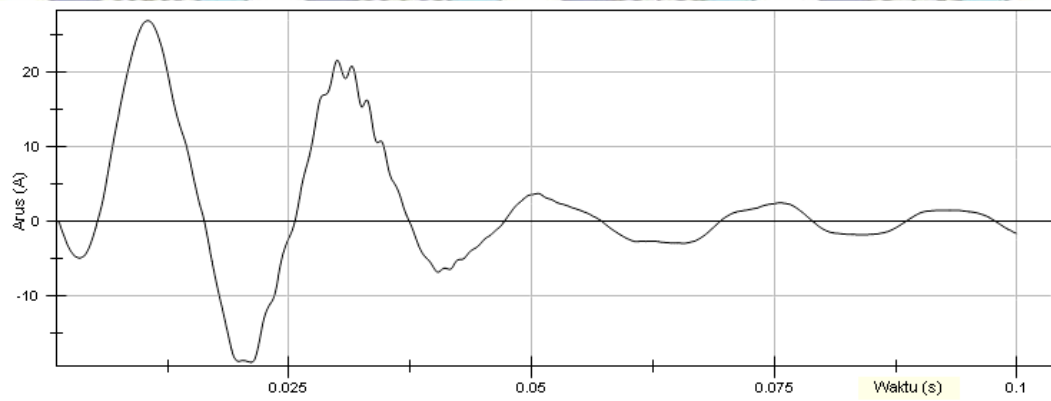
(b)

Gambar 4.1 Sinyal arus stator (a) sinyal arus starting pada saat kondisi tidak berbeban (b) sinyal arus starting pada saat kondisi berbeban

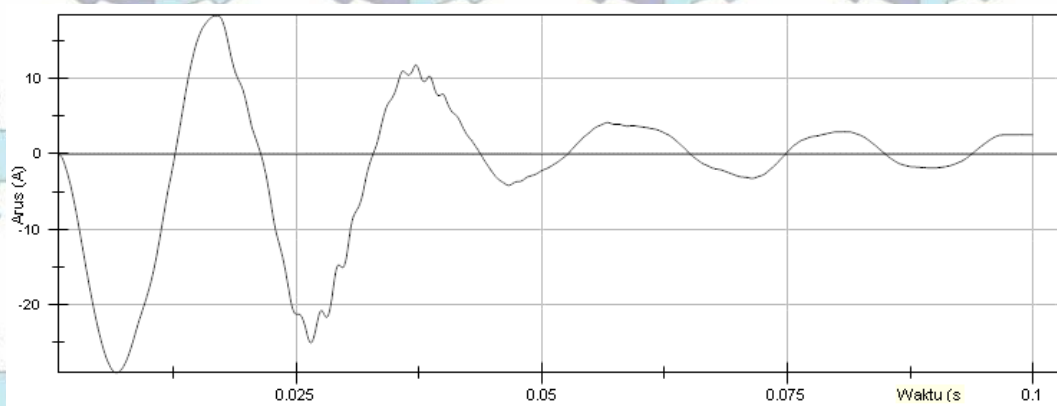
Dalam pengolahan data selanjutnya diambil sample 5 cycle selama 0.1 detik. Berikut gambar untuk sinyal arus dengan 2500 data dalam 0.1 detik pada setiap fasanya.



(a) Fasa R

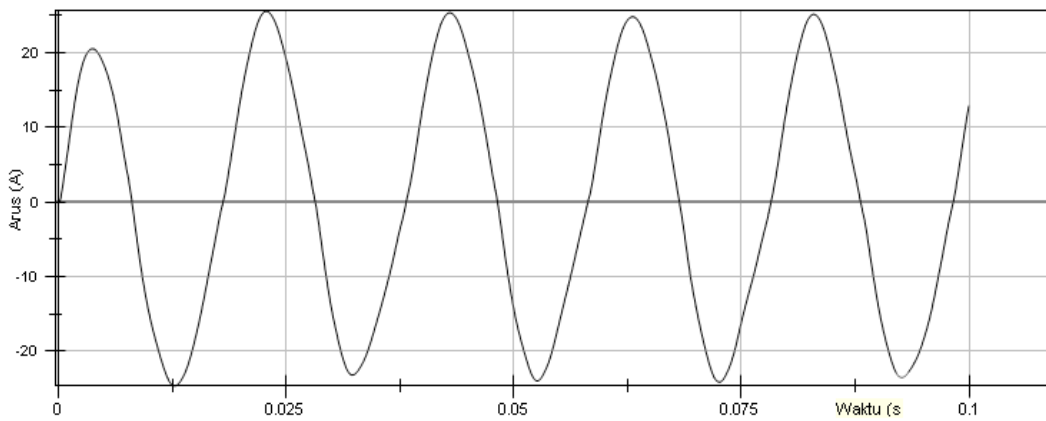


(b) Fasa S

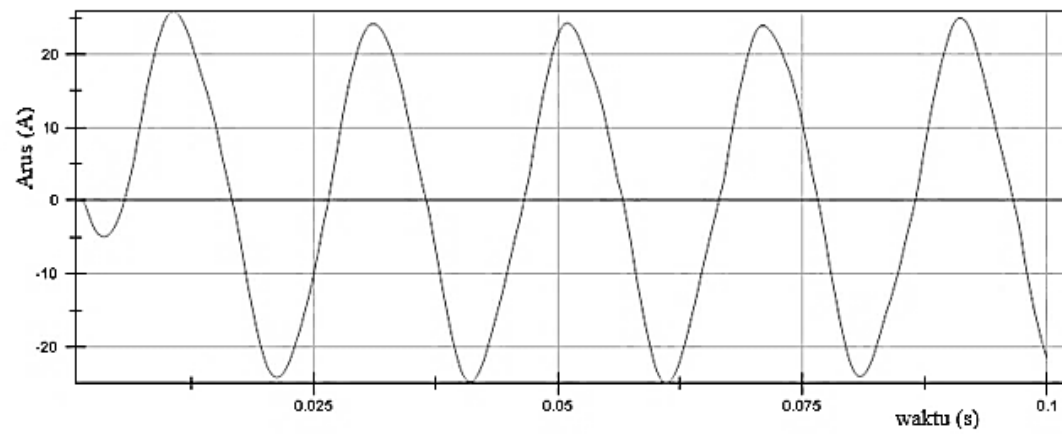


(c) Fasa T

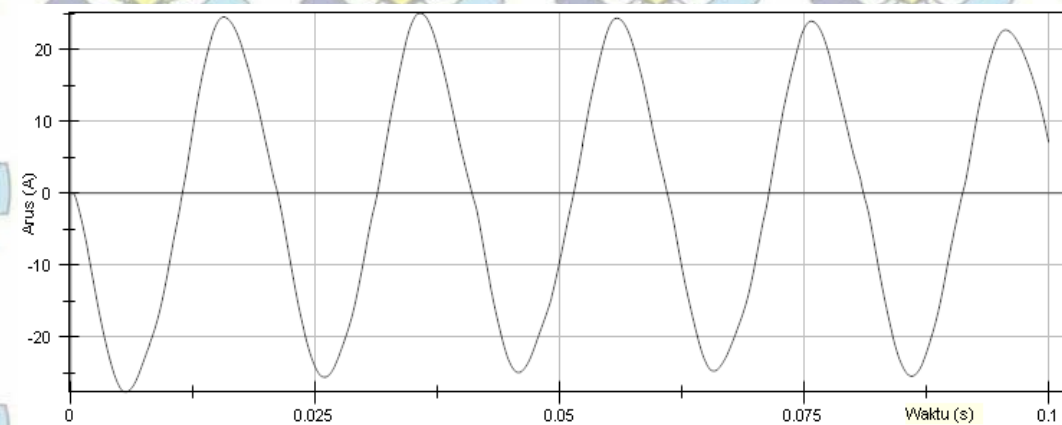
Gambar 4.2 Sinyal arus starting 5 cycle dengan 2500 data pada kondisi tanpa beban



(a) Fasa R



(b) Fasa S



(c) Fasa T

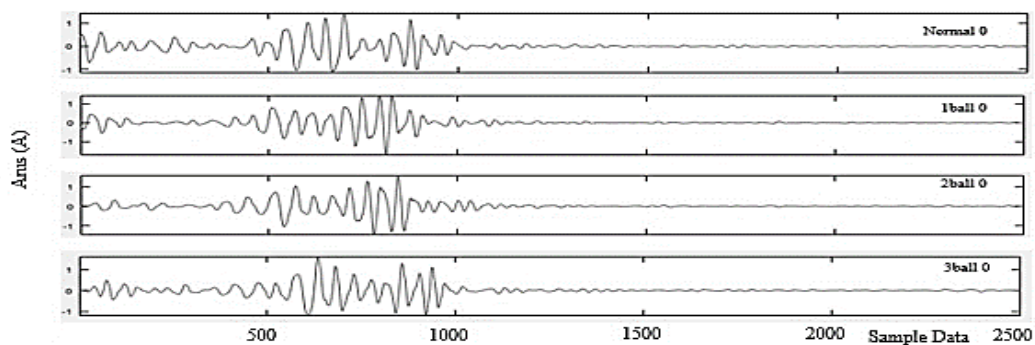
Gambar 4.3 Sinyal arus starting 5 cycle dengan 2500 data pada kondisi berbeban

4.2 Pengolahan Sinyal Arus Menggunakan Transformasi Wavelet

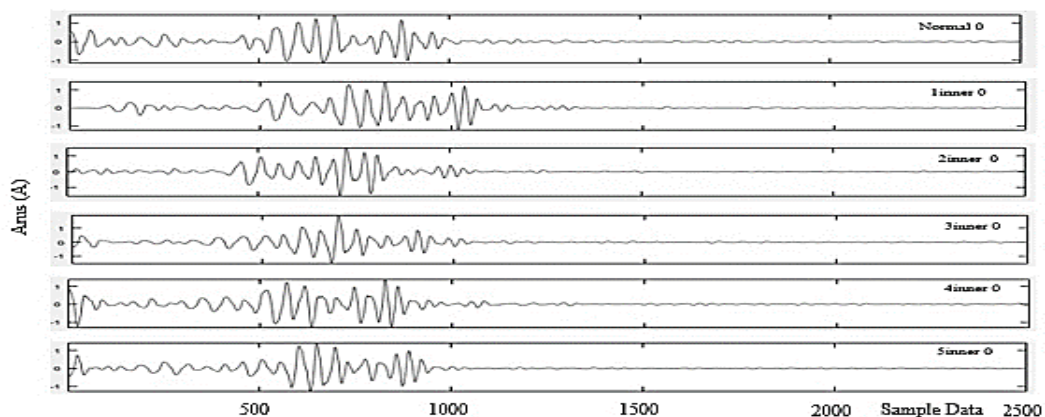
Sinyal transformasi diperoleh dari pengolahan data arus yang diambil ketika motor beroperasi dalam keadaan start up. Transformasi wavelet yang digunakan adalah wavelet deubaches dengan 5 level dekomposisi.

Dekomposisi ke lima (d5) diambil sebagai perbandingan karena berdasarkan hasil pengamatan pada dekomposisi ke lima terlihat perbedaan bentuk sinyal pada setiap kondisi kerusakan. Pencuplikan ini dilakukan, agar sinyal yang dihasilkan lebih terlihat jelas dan dapat membedakan hasil pada setiap kondisi. Perbedaan pada setiap kondisi dapat dilakukan dengan melihat jumlah ripple yang akan dihasilkan pada setiap grafik.

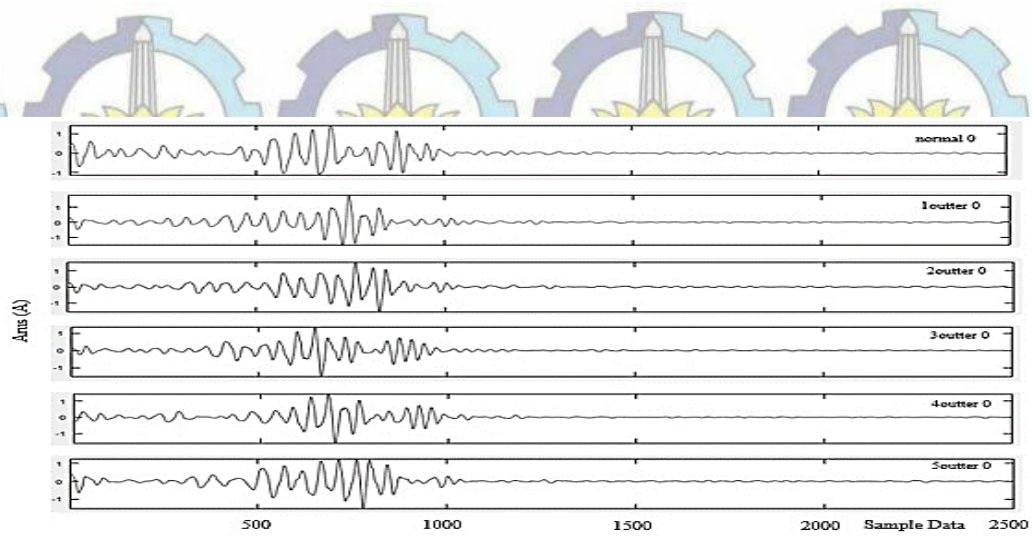
Data dekomposisi ke lima tersebut digunakan sebagai input data untuk memperoleh nilai energi pada tiap kondisi kerusakan. Nilai energi yang diperoleh selanjutnya akan dijadikan sebagai input data dalam jaringan saraf tiruan untuk pengklasifikasian jenis kerusakan.



(a) Kondisi kerusakan bola

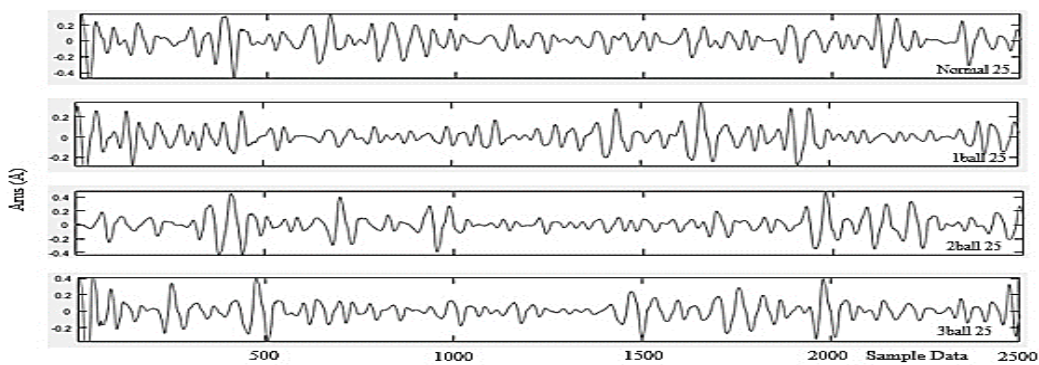


(b) Kondisi kerusakan inner-race

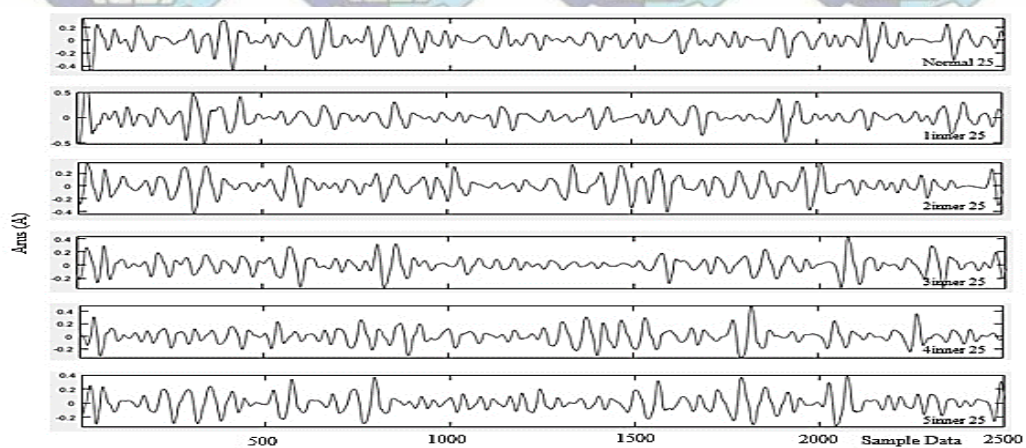


(c) Kondisi kerusakan outter-race

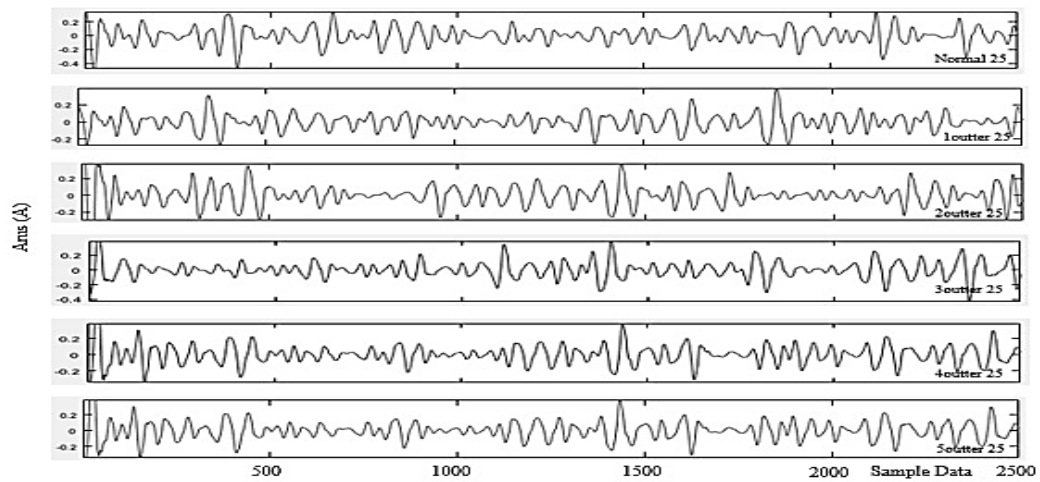
Gambar 4.4 Perbandingan d5 antara kondisi normal dan kerusakan pada beban 0%



(a) Kondis kerusakan bola

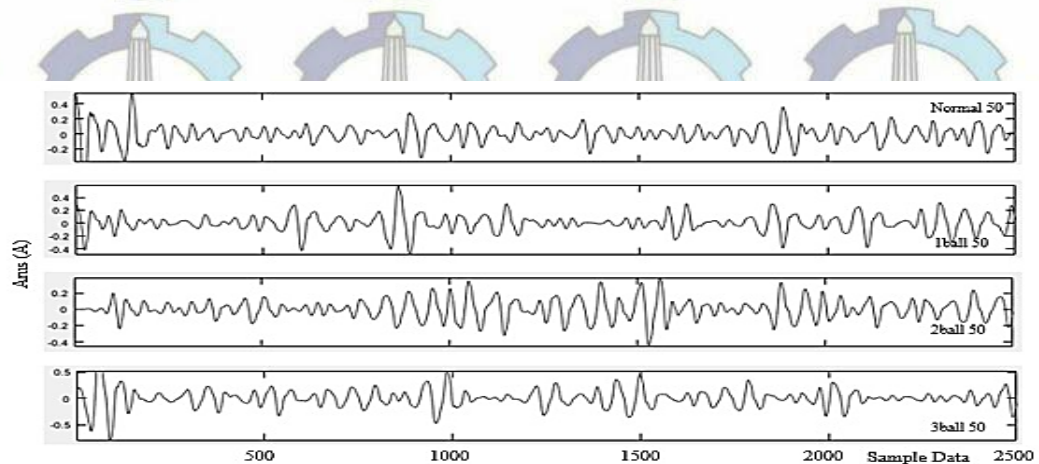


(b) Kondisi kerusakan inner-race

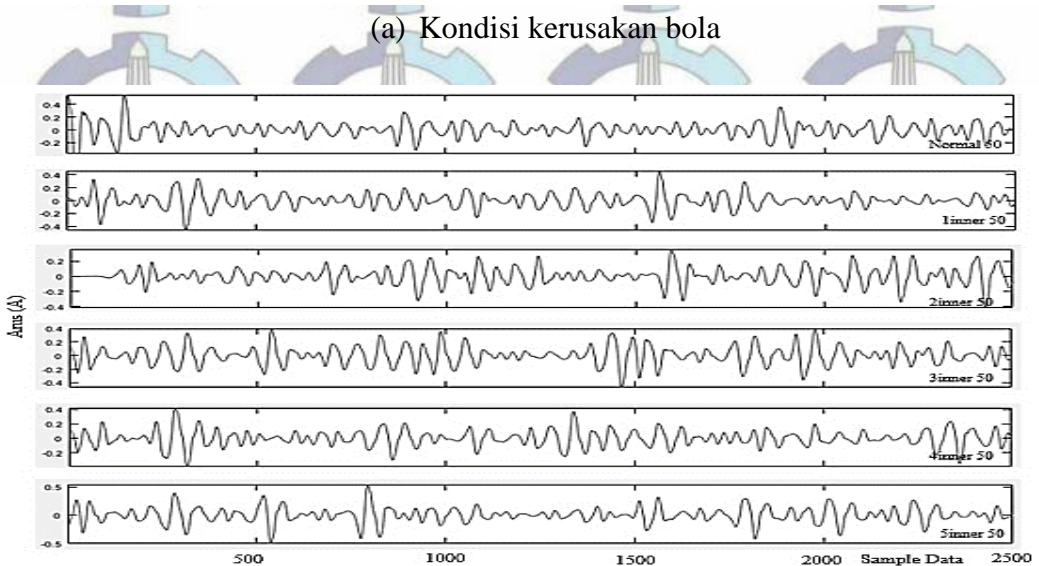


(c) Kondisi kerusakan outter-race

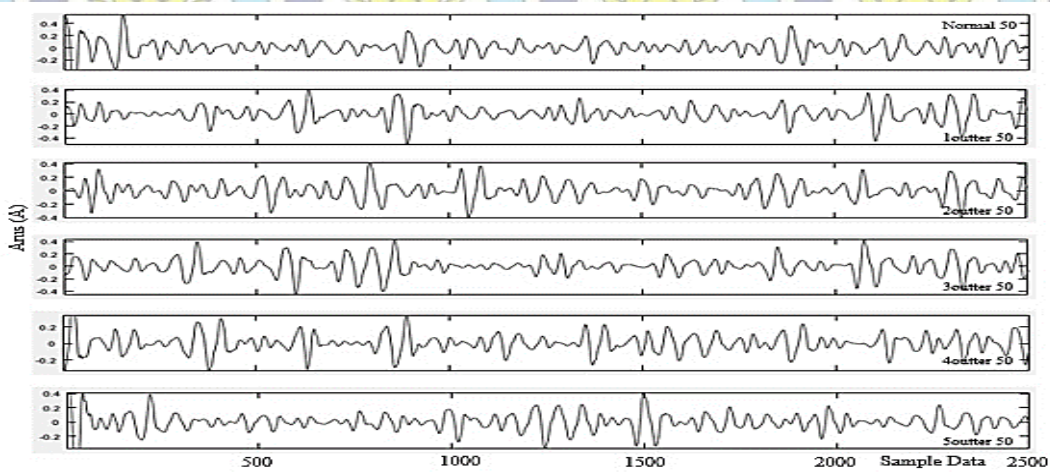
Gambar 4.5 Perbandingan d5 antara kondisi normal dan kerusakan pada beban 25%



(a) Kondisi kerusakan bola

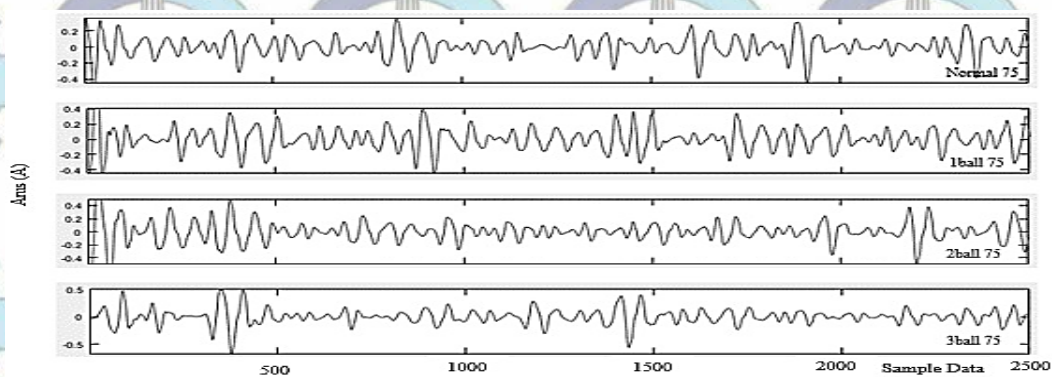


(b) Kondisi kerusakan inner-race

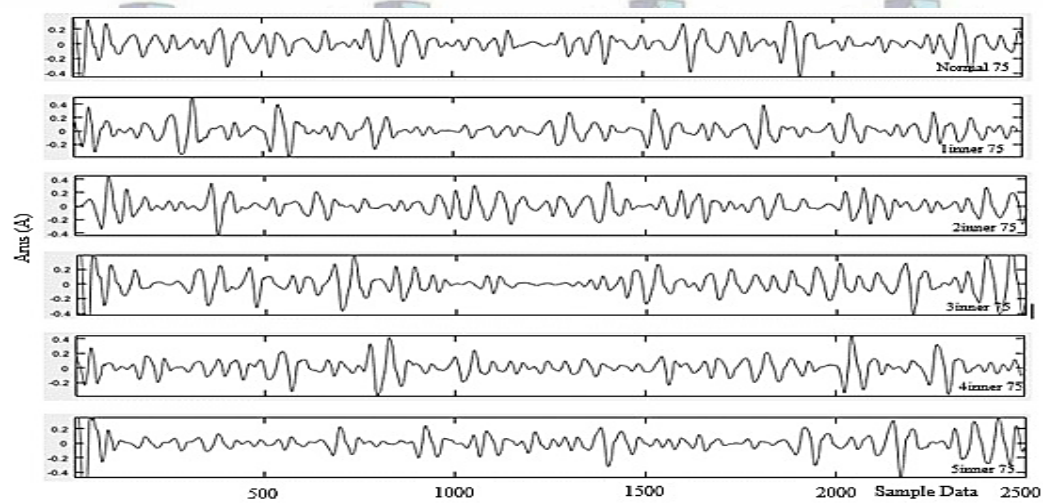


(c) Kondisi kerusakan outter-race

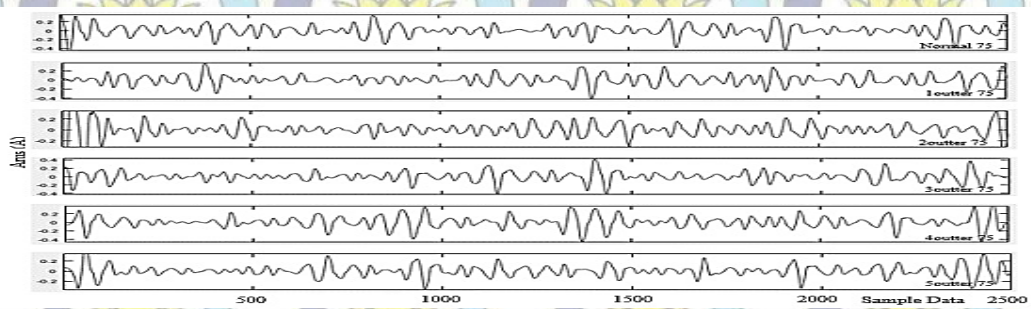
Gambar 4.6 Perbandingan d5 antara kondisi normal dan kerusakan pada beban 50%



(a) Kondisi kerusakan bola

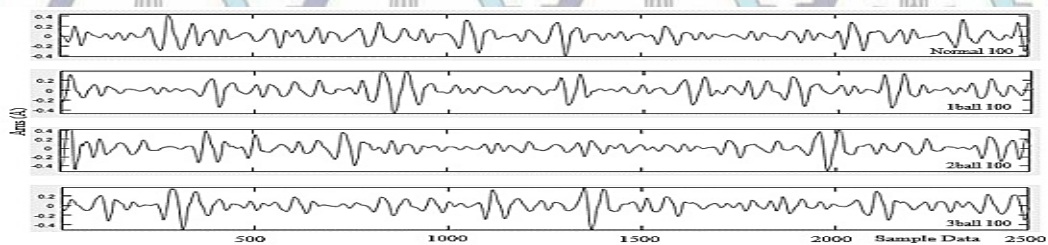


(b) Kondisi kerusakan inner-race

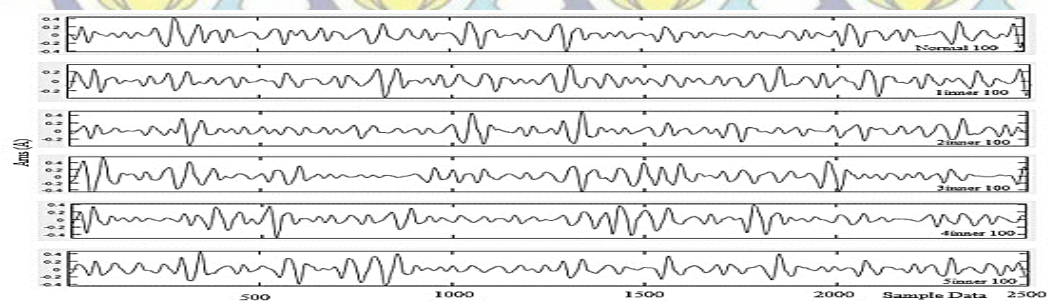


(c) Kondisi kerusakan outter-race

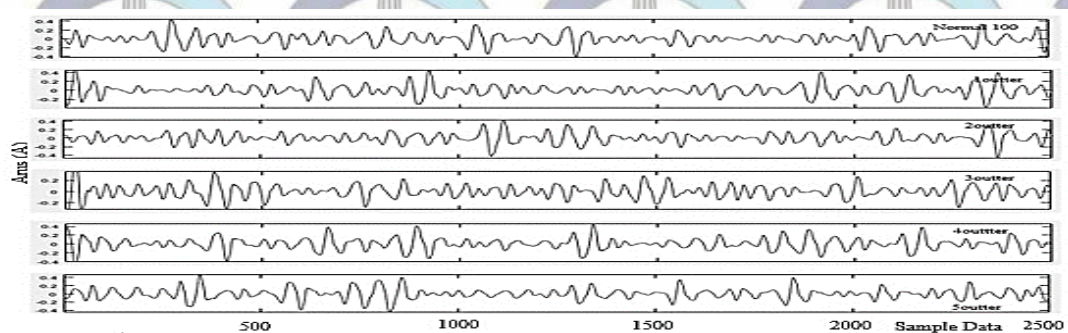
Gambar 4.7 Perbandingan d5 antara kondisi normal dan kerusakan pada beban 75%



(a) Kondisi kerusakan bola



(b) Kondisi kerusakan inner-race



(c) Kondisi kerusakan outter-race

Gambar 4.8 Perbandingan d5 antara kondisi normal dan kerusakan pada beban 100%

Dari sinyal yang dihasilkan pada dekomposisi ke lima, terdapat perbedaan ripple antara kondisi normal dan kondisi kerusakan. Melalui nilai energi dapat dilihat bahwa jika terjadi kerusakan maka nilai energi pada kondisi rusak akan lebih besar dari energi pada saat kondisi normal. Dari tabel 4.1 diperoleh rata-rata keberhasilan deteksi pada setiap kondisi kerusakan. Namun dari hasil energi ini, tidak ada nilai yang bisa dijadikan threshold untuk setiap jenis kerusakannya, sehingga dibutuhkan jaringan saraf tiruan untuk mengklasifikasi jenis kerusakan dengan melakukan pelatihan.

Setelah diperoleh persentase keberhasilan deteksi kerusakan, selanjutnya diambil data persentase tertinggi dari koefisien energi sebagai data input dalam pengklasifikasian menggunakan jaringan saraf tiruan. Data yang digunakan sebagai input adalah CE1, CE2, CE4 dan CE5. Data-data tersebut merupakan data koefisien energi untuk tiap cycle. Data pada cycle ke tiga (CE3) tidak dijadikan input jaringan saraf tiruan karena pada penelitian ini hanya menggunakan empat data yang memiliki keberhasilan deteksi tertinggi. Energi yang diperoleh dari masing-masing fasa memiliki nilai yang berbeda, hal ini dikarenakan setiap fasa memiliki perbedaan sudut 120 derajat.

Tabel 4.1 Persentase Rata-Rata Keberhasilan Deteksi Pada Setiap Kondisi Kerusakan

<i>Koefisien Energi</i>	<i>Rata-rata Inner</i>	<i>Rata-rata Outer</i>	<i>Rata-rata Ball</i>
<i>CE1</i>	48%	54%	40%
<i>CE2</i>	46%	58%	43%
<i>CE3</i>	39%	55%	39%
<i>CE4</i>	48%	67%	56%
<i>CE5</i>	53%	74%	65%

Tabel 4.2 Hasil Energi Untuk Setiap Kondisi Pada Saat Beban 0% dalam satu kali percobaan untuk fasa R

Koefisien energi	Normal	1inner	2inner	3inner	4inner	5inner
CE 1	44.7070	42.2120	48.2638	54.9393	36.7653	48.9831
CE 2	36.4525	39.7780	25.7330	32.9495	32.2720	33.0528
CE 3	2.4605	6.3637	1.7945	1.9240	1.7246	1.2950
CE 4	0.9867	1.3074	1.0047	1.0026	1.2528	0.8255
CE 5	0.4692	0.6325	0.6644	0.6951	0.5846	0.5514

Koefisien energi	1outter	2outter	3outter	4outter	5outter	1ball	2ball	3ball
CE 1	46.6850	41.1997	46.6517	49.6649	42.5711	40.5985	41.5154	36.8787
CE 2	26.0896	29.3874	27.0829	30.3086	28.5693	32.8881	32.8301	37.7053
CE 3	1.5314	1.8980	1.0069	1.2493	1.9890	2.1147	2.5230	1.9825
CE 4	0.8233	0.9039	0.3957	0.5568	1.0575	0.8983	0.9830	0.8418
CE 5	0.4331	0.3273	0.3762	0.3784	0.3982	0.3520	0.4199	0.4375

Tabel 4.3 Hasil Energi Untuk Setiap Kondisi Pada Saat Beban 25% dalam satu kali percobaan untuk fasa R

Koefisien energi	Normal	1inner	2inner	3inner	4inner	5inner
CE 1	54.2456	42.5369	61.8526	60.7281	65.1818	69.5252
CE 2	57.8577	61.7533	49.4471	52.0994	53.2716	60.5925
CE 3	58.8537	60.1403	51.8053	54.4250	52.5294	57.5469
CE 4	56.7267	58.6221	53.9978	56.0778	55.7553	57.1364
CE 5	54.8740	58.2980	56.0854	54.7656	55.1126	56.7569

Koefisien energi	1outter	2outter	3outter	4outter	5outter	1ball	2ball	3ball
CE 1	61.0026	35.8118	52.7153	42.8157	45.1285	43.8103	35.5610	44.9919
CE 2	58.4274	57.0487	52.4941	56.1881	53.9281	60.1817	56.9706	58.0880
CE 3	56.8546	54.2832	53.6506	53.7260	55.3696	56.2568	52.5709	56.5628
CE 4	54.8652	54.0223	53.3617	53.7655	53.5847	54.1323	48.3937	55.6037
CE 5	54.8618	53.1660	52.3193	51.3414	54.2637	56.4267	47.6915	55.8421

Tabel 4.4 Hasil Energi Untuk Setiap Kondisi Pada Saat Beban 50% dalam satu kali percobaan untuk fasa R

Koefisien energi	Normal	1inner	2inner	3inner	4inner	5inner
CE 1	46.1073	63.2964	42.2253	64.0967	66.0611	71.6161
CE 2	55.3323	60.5307	54.3474	50.2765	58.3468	59.5947
CE 3	52.4193	57.3438	51.5532	51.7463	54.3295	58.1584
CE 4	51.8496	58.6678	53.5318	55.8514	52.5235	56.5607
CE 5	50.6980	57.6082	52.3682	56.6928	54.9935	55.3434

Koefisien energi	1outter	2outter	3outter	4outter	5outter	1ball	2ball	3ball
CE 1	62.1543	58.3711	62.8308	51.9546	55.0166	60.7818	53.0479	35.8972
CE 2	59.6426	56.9850	54.2546	55.5368	54.9580	59.7924	49.7957	56.9567
CE 3	59.0268	54.0699	53.7378	53.8729	53.2501	57.2979	47.0950	56.7400
CE 4	57.4845	53.3720	52.6757	51.8094	52.7645	55.3689	49.5450	56.0738
CE 5	56.9342	53.6399	52.1513	52.5381	51.7805	55.9815	50.1805	56.5121

Tabel 4.5 Hasil Energi Untuk Setiap Kondisi Pada Saat Beban 75% dalam satu kali percobaan untuk fasa R

Koefisien energi	Normal	1inner	2inner	3inner	4inner	5inner
CE 1	46.5276	68.6522	56.0138	36.5259	66.1182	42.4365
CE 2	49.9165	56.2255	54.7755	56.4522	53.9346	56.9675
CE 3	52.3882	55.9007	50.6168	60.8936	55.8402	56.2724
CE 4	50.8284	54.8948	55.5739	53.6431	57.0638	55.3056
CE 5	51.2027	54.6677	54.7739	53.6417	56.1634	55.1130

Koefisien energi	1outter	2outter	3outter	4outter	5outter	1ball	2ball	3ball
CE 1	58.8160	37.7832	46.1829	41.9277	39.3439	40.0168	32.1145	38.7138
CE 2	59.7837	51.3605	53.5849	54.8570	52.9178	52.9664	56.7995	59.4064
CE 3	58.5860	54.0314	54.6494	56.3683	53.1023	55.0535	55.1901	56.3810
CE 4	56.7866	52.7993	53.1466	55.7363	52.0450	56.6193	52.9294	55.8588
CE 5	57.6662	53.2451	53.0780	54.1879	51.9279	55.8184	54.1392	53.8376

Tabel 4.6 Hasil Energi Untuk Setiap Kondisi Pada Saat Beban 100% dalam satu kali percobaan untuk fasa R

Koefisien energi	Normal	1inner	2inner	3inner	4inner	5inner
CE 1	68.0977	65.7662	71.0489	52.7544	64.1513	70.3658
CE 2	57.8247	58.9283	60.3591	49.1752	53.7337	56.7874
CE 3	56.7564	56.1213	59.8032	50.8557	53.9956	56.4670
CE 4	54.9577	55.4716	58.5378	53.5473	56.3403	55.4731
CE 5	54.4845	54.2112	57.3640	54.8574	56.3929	54.1446

Koefisien energi	1outter	2outter	3outter	4outter	5outter	1ball	2ball	3ball
CE 1	53.1342	62.1657	43.8270	49.2793	61.8022	49.9061	40.0949	54.5141
CE 2	59.6158	54.2211	49.2959	55.6284	55.0220	54.4097	50.8080	56.2850
CE 3	58.7458	54.2940	53.1491	55.2303	54.0515	55.0274	54.9597	54.1183
CE 4	56.8392	53.2843	53.6449	55.1178	52.6668	54.7674	54.5538	52.5131
CE 5	57.6309	52.5227	52.7469	53.1838	52.2479	53.4929	52.7168	53.4066

Tabel 4.7 Hasil Energi Untuk Setiap Kondisi Pada Saat Beban 0% dalam satu kali percobaan untuk fasa S

Koefisien energi	Normal	1inner	2inner	3inner	4inner	5inner
CE1	8,57E+35	0,034952	4,60E+35	3,10E+35	4,54E+35	3,07E+35
CE2	7,90E+35	8,18E+05	2,82E+35	3,33E+35	2,47E+35	3,25E+35
CE3	9,28E+35	8,20E+05	1,89E+34	2,08E+34	1,62E+34	1,73E+34
CE4	8,34E+35	8,19E+05	7,02E+33	9,32E+33	8,71E+33	9,89E+33
CE5	5,69E+35	8,19E+05	6,13E+33	5,55E+33	5,80E+33	5,27E+33

Koefisien energi	1outter	2outter	3outter	4outter	5outter	1ball	2ball	3ball
CE1	3,27E+35	3,73E+35	4,13E+35	3,87E+35	3,49E+35	3,81E+35	3,23E+35	5,26E+35
CE2	3,21E+35	3,58E+35	2,40E+35	3,16E+35	3,52E+35	3,39E+35	2,99E+35	3,07E+35
CE3	1,73E+34	2,42E+34	2,04E+34	2,83E+34	2,30E+34	2,01E+34	1,84E+34	2,24E+34
CE4	8,48E+33	8,86E+33	6,43E+33	1,02E+34	1,02E+34	8,88E+33	9,79E+33	9,84E+33
CE5	4,24E+33	5,17E+33	5,59E+33	5,01E+33	4,88E+33	4,88E+33	4,78E+33	6,16E+33

Tabel 4.8 Hasil Energi Untuk Setiap Kondisi Pada Saat Beban 25% dalam satu kali percobaan untuk fasa S

Koefisien energi	Normal	1inner	2inner	3inner	4inner	5inner
CE1	3,56E+35	6,47E+35	3,49E+35	3,67E+35	3,58E+35	4,00E+35
CE2	4,88E+35	5,65E+35	5,15E+35	5,10E+35	4,74E+35	5,57E+35
CE3	5,13E+35	5,50E+35	5,60E+35	4,93E+35	5,27E+35	5,10E+35
CE4	4,91E+35	5,33E+35	5,45E+35	5,16E+35	5,17E+35	5,26E+35
CE5	5,01E+35	5,07E+35	4,80E+35	5,02E+35	4,95E+35	5,03E+35

Koefisien energi	1outer	2outer	3outer	4outer	5outer	1ball	2ball	3ball
CE1	3,89E+35	5,19E+35	4,25E+35	3,75E+35	4,70E+35	3,89E+14	3,40E+35	5,52E+35
CE2	5,07E+35	5,22E+35	5,27E+35	4,91E+35	5,10E+35	5,95E+14	5,11E+35	4,59E+35
CE3	4,94E+35	5,37E+35	5,04E+35	5,19E+35	4,98E+35	5,91E+14	5,30E+35	4,73E+35
CE4	5,08E+35	5,18E+35	5,07E+35	5,09E+35	5,03E+35	5,89E+14	5,07E+35	4,91E+35
CE5	4,93E+35	5,28E+35	5,12E+35	5,05E+35	4,93E+35	5,92E+14	4,94E+35	4,76E+35

Tabel 4.9 Hasil Energi Untuk Setiap Kondisi Pada Saat Beban 50% dalam satu kali percobaan untuk fasa S

Koefisien energi	Normal	1inner	2inner	3inner	4inner	5inner
CE1	5,73E+35	3,28E+35	3,22E+35	3,30E+35	4,77E+35	4,45E+35
CE2	5,20E+35	5,27E+35	4,78E+35	5,22E+35	4,26E+35	4,93E+35
CE3	5,18E+35	5,48E+35	5,26E+35	5,70E+35	4,87E+35	5,34E+35
CE4	4,67E+35	5,20E+35	5,20E+35	5,47E+35	5,18E+35	5,17E+35
CE5	4,55E+35	5,20E+35	5,02E+35	4,92E+35	5,15E+35	5,01E+35

Koefisien energi	1outer	2outer	3outer	4outer	5outer	1ball	2ball	3ball
CE1	4,02E+35	6,25E+35	3,68E+35	4,26E+35	6,01E+35	3,85E+35	4,56E+35	5,52E+35
CE2	5,34E+35	5,41E+35	5,39E+35	5,06E+35	5,25E+35	4,90E+35	4,96E+35	4,59E+35
CE3	5,28E+35	5,43E+35	5,21E+35	4,93E+35	5,24E+35	5,02E+35	4,97E+35	4,73E+35
CE4	5,24E+35	5,34E+35	5,16E+35	5,04E+35	4,94E+35	5,04E+35	4,64E+35	4,91E+35
CE5	5,25E+35	5,10E+35	5,27E+35	5,00E+35	5,06E+35	5,01E+35	4,73E+35	4,76E+35

Tabel 4.10 Hasil Energi Untuk Setiap Kondisi Pada Saat Beban 75% dalam satu kali percobaan untuk fasa S

Koefisien energi	Normal	1inner	2inner	3inner	4inner	5inner
CE1	6,63E+35	4,06E+35	3,42E+35	4,38E+35	3,77E+35	5,98E+35
CE2	6,16E+35	5,07E+35	4,96E+35	5,19E+35	5,03E+35	5,12E+35
CE3	4,98E+35	5,21E+35	5,59E+35	4,65E+35	4,98E+35	5,06E+35
CE4	4,71E+35	5,07E+35	5,26E+35	4,69E+35	5,23E+35	4,95E+35
CE5	4,69E+35	4,95E+35	4,97E+35	4,50E+35	5,04E+35	5,07E+35

Koefisien energi	1outter	2outter	3outter	4outter	5outter	1ball	2ball	3ball
CE1	4,06E+35	5,87E+35	4,03E+35	4,10E+35	4,18E+35	6,14E+35	5,37E+35	3,63E+35
CE2	5,27E+35	5,34E+35	5,28E+35	4,93E+35	5,29E+35	4,74E+35	4,43E+35	4,80E+35
CE3	5,08E+35	5,04E+35	5,29E+35	5,10E+35	5,04E+35	4,46E+35	4,79E+35	5,07E+35
CE4	5,31E+35	5,27E+35	5,10E+35	4,93E+35	5,04E+35	4,64E+35	4,77E+35	4,94E+35
CE5	5,21E+35	5,14E+35	5,17E+35	4,79E+35	4,97E+35	5,26E+35	4,96E+35	4,96E+35

Tabel 4.11 Hasil Energi Untuk Setiap Kondisi Pada Saat Beban 100% dalam satu kali percobaan untuk fasa S

Koefisien energi	Normal	1inner	2inner	3inner	4inner	5inner
CE1	6,21E+35	4,38E+35	5,15E+35	3,14E+35	3,57E+35	4,18E+35
CE2	7,10E+35	5,00E+35	5,46E+35	5,16E+35	5,18E+35	4,93E+35
CE3	6,10E+35	5,10E+35	5,06E+35	5,46E+35	5,56E+35	5,20E+35
CE4	5,77E+35	4,89E+35	5,37E+35	5,25E+35	5,30E+35	4,99E+35
CE5	5,81E+35	4,88E+35	5,14E+35	4,96E+35	5,21E+35	4,98E+35

Koefisien energi	1outter	2outter	3outter	4outter	5outter	1ball	2ball	3ball
CE1	4,24E+35	3,30E+35	6,66E+35	4,26E+35	3,28E+35	4,13E+35	5,78E+35	3,43E+35
CE2	5,11E+35	5,26E+35	5,26E+35	5,00E+35	5,23E+35	5,06E+35	4,60E+35	5,00E+35
CE3	5,20E+35	5,51E+35	5,09E+35	5,04E+35	5,22E+35	5,18E+35	4,86E+35	4,96E+35
CE4	5,08E+35	5,37E+35	5,26E+35	5,08E+35	5,12E+35	4,99E+35	5,17E+35	5,06E+35
CE5	5,06E+35	5,07E+35	5,02E+35	5,02E+35	5,19E+35	4,83E+35	5,15E+35	4,87E+35

Tabel 4.12 Hasil Energi Untuk Setiap Kondisi Pada Saat Beban 0% dalam satu kali percobaan untuk fasa T

Koefisien energi	Normal	1inner	2inner	3inner	4inner	5inner
CE1	4,40E+35	4,79E+35	2,67E+35	3,07E+35	3,99E+35	4,47E+35
CE2	2,99E+35	2,60E+35	2,45E+35	2,90E+35	2,67E+35	2,33E+35
CE3	3,00E+34	1,25E+34	1,07E+34	1,99E+34	1,25E+34	1,52E+34
CE4	1,44E+34	6,02E+33	5,67E+33	7,81E+33	5,41E+33	6,27E+33
CE5	6,67E+33	3,23E+33	2,72E+33	2,87E+33	3,77E+33	3,99E+33

Koefisien energi	1outter	2outter	3outter	4outter	5outter	1ball	2ball	3ball
CE1	4,25E+35	4,55E+35	2,63E+35	3,06E+35	4,39E+35	4,49E+35	4,26E+35	3,67E+35
CE2	2,65E+35	2,84E+35	2,33E+35	2,75E+35	2,67E+35	2,92E+35	2,57E+35	2,32E+35
CE3	2,15E+34	2,50E+34	1,20E+34	1,53E+34	1,68E+34	1,58E+34	1,21E+34	1,79E+34
CE4	7,12E+33	1,10E+34	7,51E+33	9,44E+33	8,68E+33	8,27E+33	6,50E+33	9,34E+33
CE5	5,11E+33	6,21E+33	5,50E+33	4,77E+33	4,73E+33	5,65E+33	4,13E+33	3,87E+33

Tabel 4.13 Hasil Energi Untuk Setiap Kondisi Pada Saat Beban 25% dalam satu kali percobaan untuk fasa T

Koefisien energi	Normal	1inner	2inner	3inner	4inner	5inner
CE1	7,02E+35	4,08E+35	4,18E+35	3,68E+35	3,22E+35	3,75E+35
CE2	5,09E+35	4,08E+35	4,69E+35	4,91E+35	4,84E+35	4,50E+35
CE3	5,38E+35	4,66E+35	4,31E+35	4,89E+35	4,35E+35	4,72E+35
CE4	4,83E+35	4,64E+35	3,97E+35	4,70E+35	4,18E+35	4,61E+35
CE5	4,88E+35	4,74E+35	3,87E+35	4,58E+35	4,53E+35	4,49E+35

Koefisien energi	1outter	2outter	3outter	4outter	5outter	1ball	2ball	3ball
CE1	5,79E+35	3,16E+35	5,16E+35	5,38E+35	4,91E+35	4,90E+35	4,67E+35	3,01E+35
CE2	4,60E+35	5,03E+35	4,74E+35	4,81E+35	4,74E+35	4,26E+35	3,89E+35	4,92E+35
CE3	4,54E+35	4,67E+35	4,54E+35	4,51E+35	4,35E+35	4,55E+35	4,26E+35	4,66E+35
CE4	4,56E+35	4,94E+35	4,41E+35	4,61E+35	4,46E+35	4,45E+35	4,10E+35	4,48E+35
CE5	4,63E+35	4,50E+35	4,52E+35	4,54E+35	4,28E+35	4,64E+35	4,72E+35	4,47E+35

Tabel 4.14 Hasil Energi Untuk Setiap Kondisi Pada Saat Beban 50% dalam satu kali percobaan untuk fasa T

Koefisien energi	Normal	1inner	2inner	3inner	4inner	5inner
CE1	5,02E+35	4,52E+35	3,52E+35	4,40E+35	2,64E+35	3,85E+35
CE2	5,04E+35	4,74E+35	4,46E+35	4,34E+35	4,56E+35	4,90E+35
CE3	5,18E+35	4,63E+35	4,22E+35	4,07E+35	4,46E+35	4,65E+35
CE4	5,05E+35	4,56E+35	4,00E+35	3,89E+35	4,45E+35	4,50E+35
CE5	4,96E+35	4,56E+35	4,14E+35	4,20E+35	4,39E+35	4,44E+35

Koefisien energi	1outer	2outer	3outer	4outer	5outer	1ball	2ball	3ball
CE1	5,29E+35	3,87E+35	4,83E+35	5,38E+35	3,46E+35	5,08E+35	2,95E+35	4,34E+35
CE2	4,55E+35	4,35E+35	4,80E+35	4,75E+35	4,44E+35	4,41E+35	4,50E+35	4,74E+35
CE3	4,46E+35	4,70E+35	4,88E+35	4,62E+35	4,29E+35	4,24E+35	4,64E+35	4,41E+35
CE4	4,57E+35	4,56E+35	4,72E+35	4,62E+35	4,54E+35	4,36E+35	4,62E+35	4,66E+35
CE5	4,54E+35	4,60E+35	4,17E+35	4,57E+35	4,83E+35	4,35E+35	4,30E+35	4,40E+35

Tabel 4.15 Hasil Energi Untuk Setiap Kondisi Pada Saat Beban 75% dalam satu kali percobaan untuk fasa T

Koefisien energi	Normal	1inner	2inner	3inner	4inner	5inner
CE1	8,38E+35	4,33E+35	3,89E+35	4,15E+35	2,98E+35	5,19E+35
CE2	5,08E+35	4,56E+35	4,56E+35	4,09E+35	4,73E+35	4,57E+35
CE3	5,00E+35	4,40E+35	4,51E+35	4,08E+35	4,48E+35	4,64E+35
CE4	4,98E+35	4,37E+35	3,84E+35	4,45E+35	4,38E+35	4,38E+35
CE5	4,72E+35	4,37E+35	4,11E+35	4,14E+35	4,47E+35	4,42E+35

Koefisien energi	1outer	2outer	3outer	4outer	5outer	1ball	2ball	3ball
CE1	5,74E+35	5,02E+35	4,94E+35	5,25E+35	5,28E+35	3,23E+35	4,68E+35	4,89E+35
CE2	4,44E+35	4,81E+35	4,72E+35	4,51E+35	4,69E+35	4,72E+35	4,43E+35	4,28E+35
CE3	4,75E+35	4,40E+35	4,72E+35	4,60E+35	4,42E+35	4,90E+35	4,41E+35	4,14E+35
CE4	4,83E+35	4,57E+35	4,82E+35	4,57E+35	4,38E+35	4,77E+35	4,19E+35	4,09E+35
CE5	4,32E+35	4,59E+35	4,77E+35	4,17E+35	4,63E+35	4,37E+35	4,18E+35	4,43E+35

Tabel 4.16 Hasil Energi Untuk Setiap Kondisi Pada Saat Beban 100% dalam satu kali percobaan untuk fasa T

Koefisien energi	Normal	1inner	2inner	3inner	4inner	5inner
CE1	4,06E+35	2,89E+35	3,09E+35	4,69E+35	3,87E+35	3,66E+35
CE2	4,05E+35	4,22E+35	4,61E+35	4,54E+35	4,91E+35	4,72E+35
CE3	4,12E+35	4,58E+35	4,43E+35	4,22E+35	4,02E+35	4,49E+35
CE4	4,16E+35	4,58E+35	4,78E+35	3,68E+35	4,20E+35	4,28E+35
CE5	4,20E+35	4,25E+35	4,40E+35	4,11E+35	4,57E+35	4,31E+35

Koefisien energi	1outter	2outter	3outter	4outter	5outter	1ball	2ball	3ball
CE1	4,68E+14	4,45E+35	2,94E+35	5,39E+35	4,87E+35	4,85E+35	3,40E+35	4,63E+35
CE2	5,79E+14	4,51E+35	5,01E+35	4,59E+35	4,75E+35	5,09E+35	4,57E+35	4,19E+35
CE3	5,76E+14	4,50E+35	4,98E+35	4,57E+35	4,59E+35	4,52E+35	4,35E+35	4,34E+35
CE4	5,74E+14	4,46E+35	4,92E+35	4,54E+35	4,48E+35	4,38E+35	4,53E+35	4,55E+35
CE5	5,74E+14	4,47E+35	4,46E+35	4,42E+35	4,71E+35	4,45E+35	4,21E+35	4,23E+35

4.3 Klasifikasi Data Dengan Jaringan Saraf Tiruan

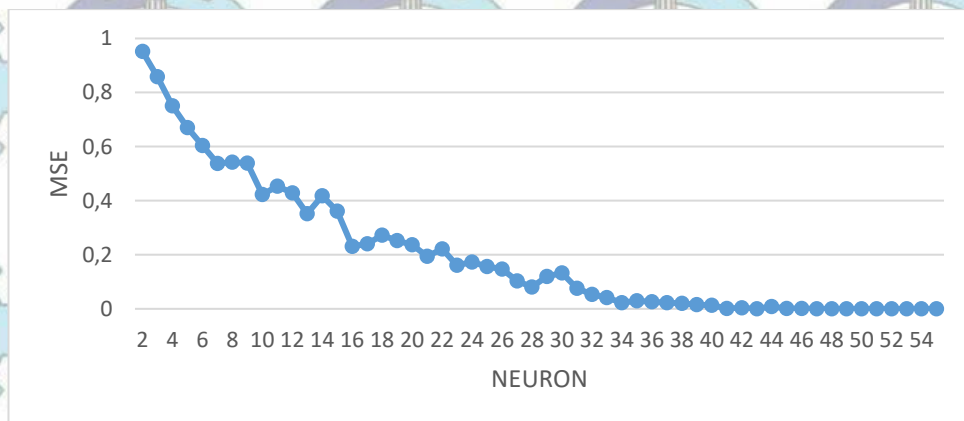
Data energi yang diperoleh dari transformasi wavelet diskrit dijadikan sebagai data input pada jaringan saraf tiruan. Data ini selanjutnya diolah dengan metode backpropagation dengan satu layer input yang terdiri dari empat neuron, satu layer tersembunyi dengan lima puluh neuron dan satu layer output dengan satu neuron. Untuk data input jaringan saraf tiruan dapat dilihat pada lampiran.

Jika output bernilai 1 maka sama dengan kondisi normal, jika terjadi kerusakan pada inner maka output akan bernilai 2, sedangkan jika bernilai 3 maka terjadi kerusakan pada outter, dan nilai 4 untuk kerusakan bola bearing.

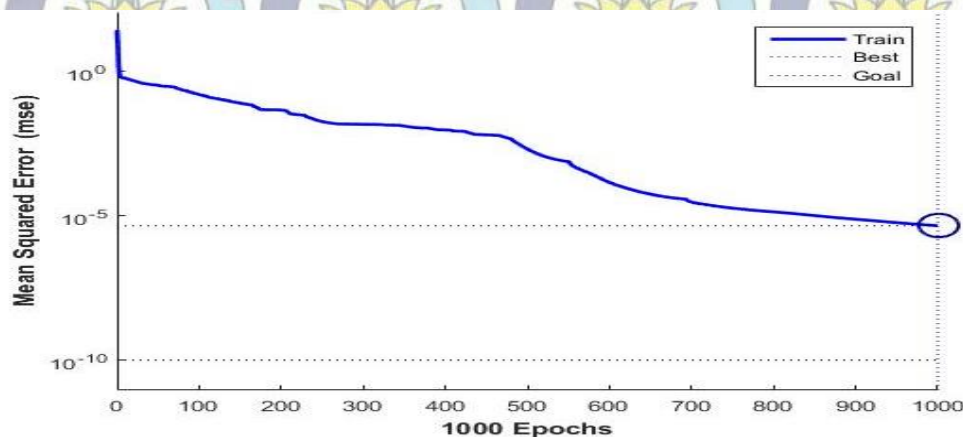
Pada penelitian ini jaringan saraf tiruan menggunakan teknik pelatihan algoritma backpropagation. Dari 350 data digunakan 280 data atau 80% untuk pelatihan dan 70 atau 20% data sebagai data pengujian. Untuk memperoleh nilai mean squared error (MSE) yang paling minimum maka dilakukan pelatihan beberapa kali dengan mengubah jumlah neuron pada lapisan tersembunyi sehingga diperoleh nilai MSE terkecil dengan jumlah neuron paling sedikit. Semakin banyak

jumlah input, jumlah neuron yang dibutuhkan juga semakin sedikit, dan nilai MSE yang diperoleh juga semakin kecil.

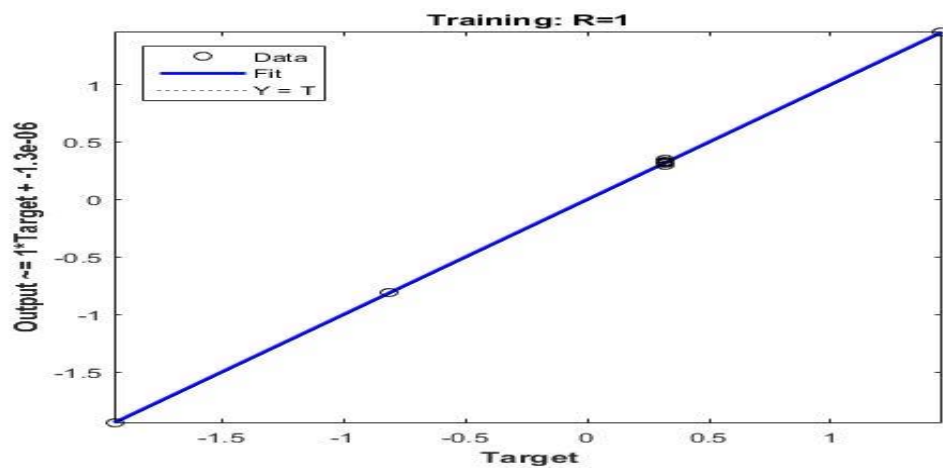
Gambar 4.9 Menunjukkan bahwa dari 55 kali pelatihan dengan jumlah neuron berbeda diperoleh nilai MSE terkecil pada saat pelatihan ke 51. Sehingga jumlah neuron yang akan digunakan pada saat pengujian adalah 51 neuron untuk layer tersembunyi pada fasa R. Nilai training performance yang diperoleh adalah $4.4724e-06$ sebagai nilai *best training performance*. Sedangkan untuk fasa S digunakan 65 neuron untuk layer tersembunyi dengan nilai MSE $9.1933e-07$ dan untuk fasa T jumlah neuron pada hidden layer adalah 60 neuron dengan nilai MSE sebesar $2.2475e-11$. Semakin kecil nilai MSE maka semakin mirip antara target dan output jaringan saraf tiruan.



Gambar 4.9 Kurva *Best Performance* Pelatihan untuk fasa R



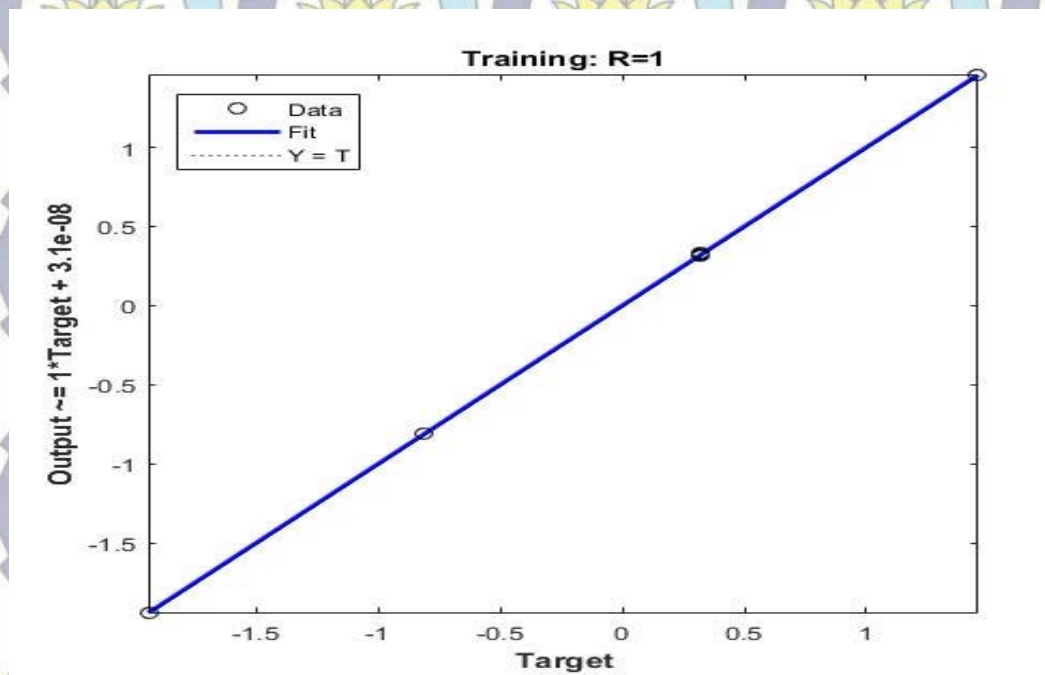
Gambar 4.10 Kurva *Mean Squared Error* untuk fasa R



Gambar 4.11 Kurva Kesesuaian Data Pelatihan Dengan Target untuk fasa R



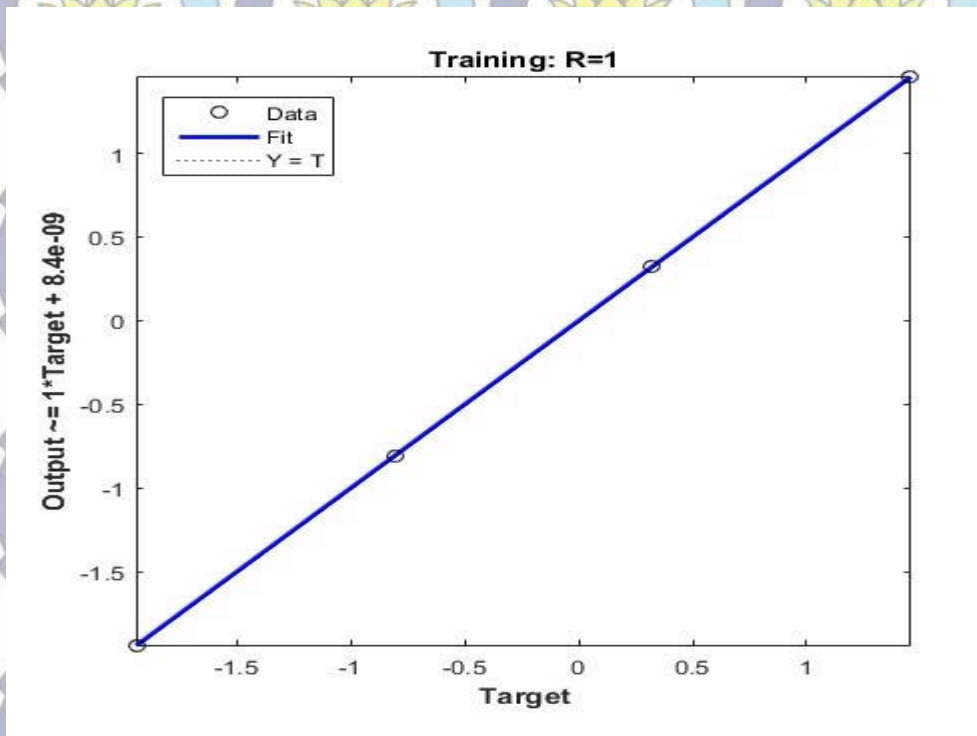
Gambar 4.12 Kurva *Mean Squared Error* untuk fasa S



Gambar 4.13 Kurva Kesesuaian Data Pelatihan Dengan Target untuk fasa S

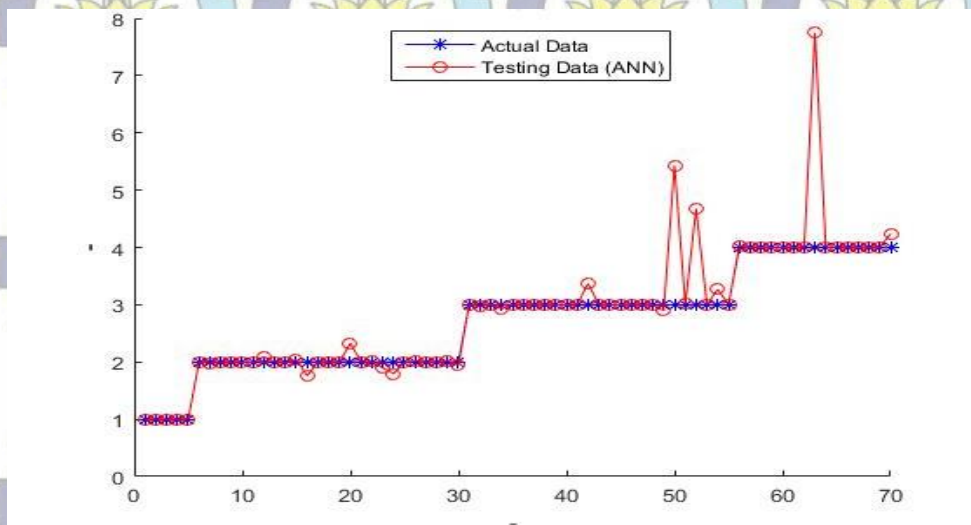


Gambar 4.14 Kurva Mean Squared Error untuk fasa T



Gambar 4.15 Kurva Kesesuaian Data Pelatihan Dengan Target untuk fasa T

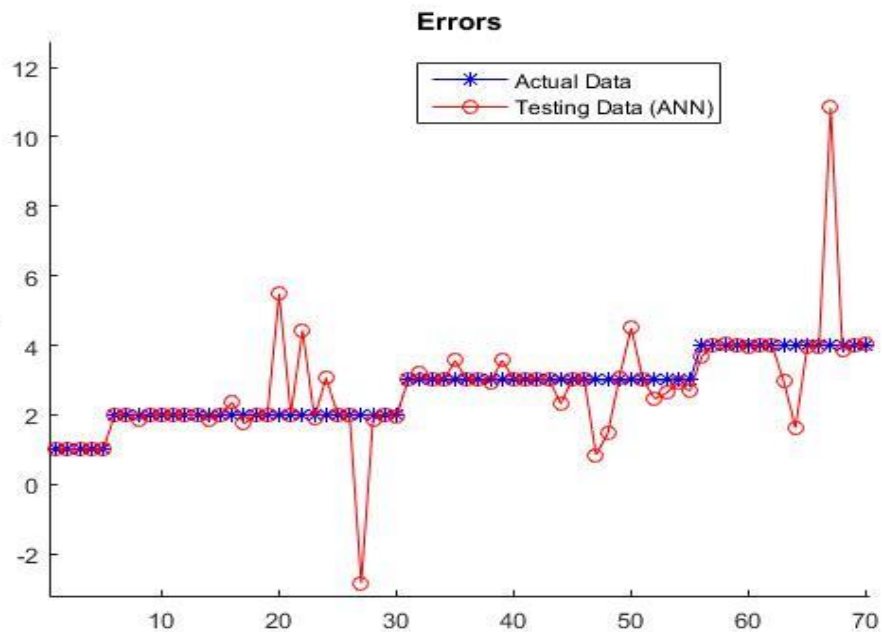
Gambar 4.11, Gambar 4.13 dan Gambar 4.15 menunjukkan kesesuaian antara data target dan data output pada saat pelatihan. Dari hasil pelatihan akan diperoleh nilai yang akan digunakan sebagai data masukan untuk pengujian. Pada penelitian ini, data yang dijadikan sebagai data uji adalah 70 data setelah melakukan pelatihan dengan 280 data. Setelah dilakukan pengujian, data yang diperoleh dibandingkan dengan data target.



Gambar 4.16 Kurva kesesuaian data target dan data output hasil pengujian untuk fasa R

Tabel 4.17 Tabel persentase keberhasilan pengujian untuk fasa S

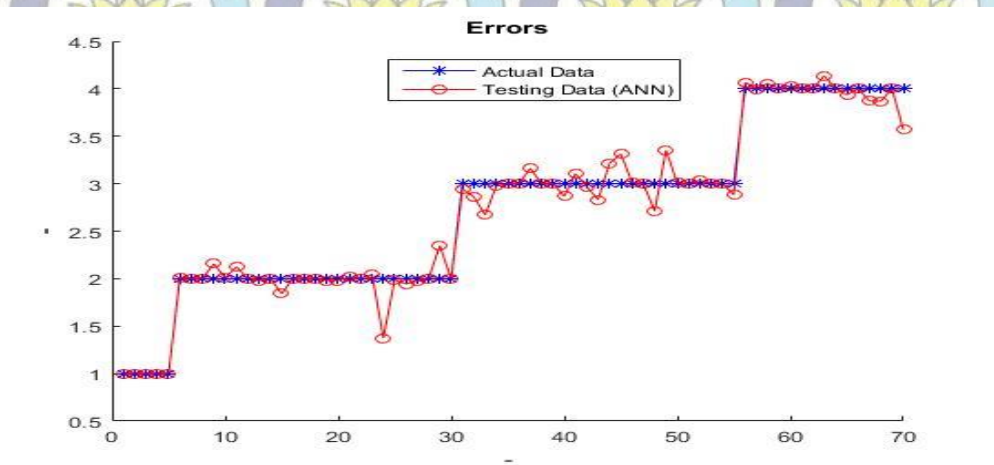
	Actual Training				Actual Testing				PPV
	N	I	O	B	N	I	O	B	
N	20				5				100%
I		100				25			100%
O			100				23	2	97%
B				60				15	100%



Gambar 4.17 Kurva kesesuaian data target dan data output hasil pengujian untuk fasa S

Tabel 4.18 Tabel persentase keberhasilan pengujian untuk fasa S

	Actual Training				Actual Testing				PPV
	N	I	O	B	N	I	O	B	
N	20				5				100%
I		100			1	20	4		92%
O			100				22	3	95%
B				60			2	13	97%



Gambar 4.18 Kurva kesesuaian data target dan data output hasil pengujian untuk fasa S

Tabel 4.19 Tabel Persentase keberhasilan pengujian untuk fasa T

	Actual Training				Actual Testing				PPV
	N	I	O	B	N	I	O	B	
N	20				5				100%
I		100			1	24			98%
O			100				25		100%
B				60				15	100%

Tabel 4.20 Persentase Keberhasilan Deteksi Tiap Fasa

Fasa	PPV			
	N	I	O	B
R	100%	100%	97%	100%
S	100%	92%	95%	97%
T	100%	100%	100%	100%

Dari pengujian tiap fasa diperoleh hasil seperti pada tabel 4.20 dengan *positive predictive value* diatas 90%.

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

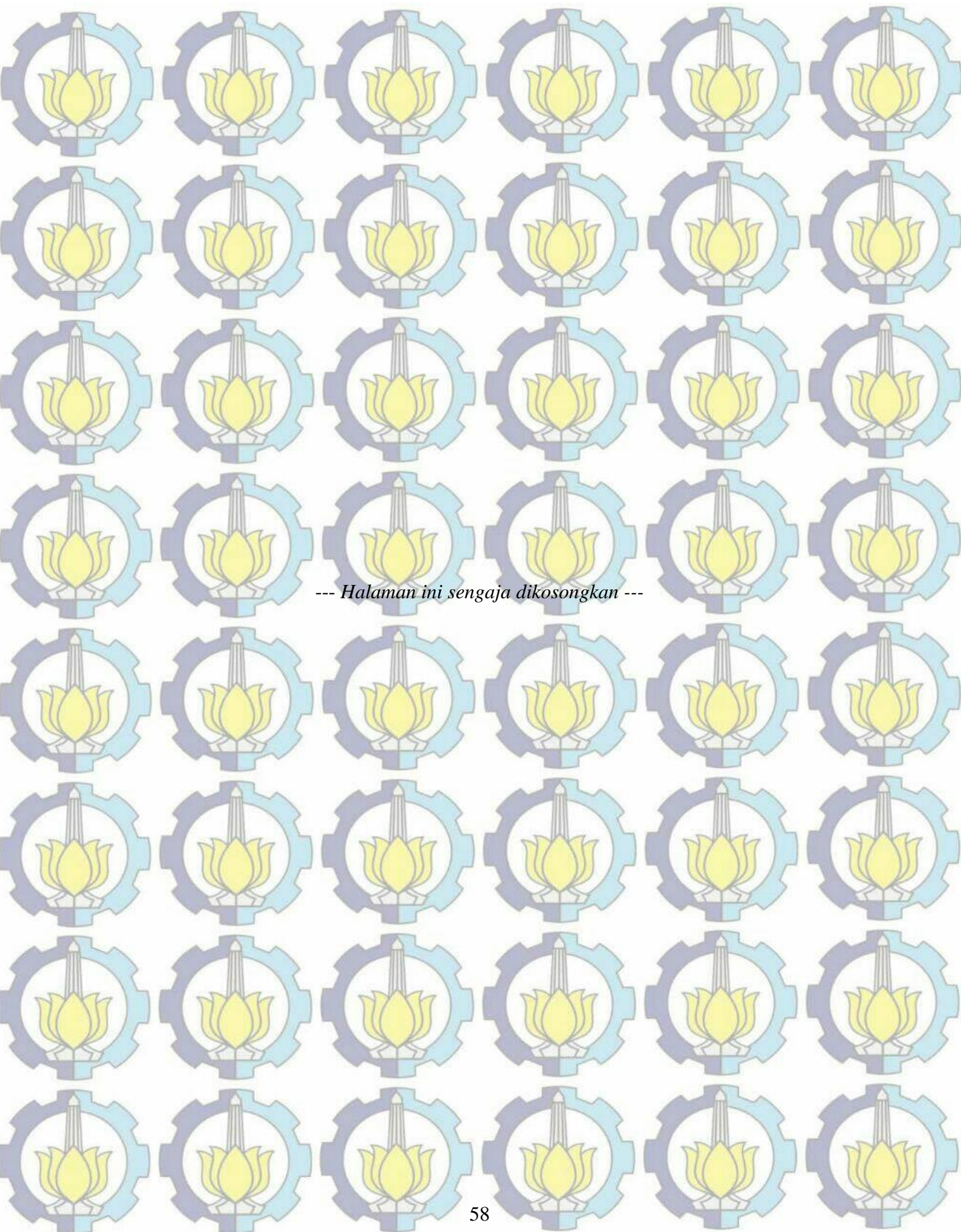
Berdasarkan hasil pengujian deteksi kerusakan bearing motor induksi dengan analisa arus starting dan jaringan saraf tiruan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Ketika terjadi kerusakan pada bearing, akan menghasilkan gerakan radial antara rotor dan stator. Gerakan rotor akibat kerusakan bearing ini menghasilkan tambahan frekuensi pada arus stator.
2. Pelatihan dan pengujian algoritma dengan jaringan saraf tiruan backpropagation menggunakan data energi normal dan energi dari setiap jenis kerusakan. Jumlah data input yang digunakan sebagai pelatihan jaringan saraf tiruan adalah 280 data dengan 70 data pengujian.
3. Dari hasil pengujian dengan menggunakan jaringan saraf tiruan untuk klasifikasi jenis kerusakan diperoleh keberhasilan klasifikasi diatas 90%. Namun pengklasifikasian ini belum bisa diaplikasikan karena jaringan saraf tiruan hanya membaca data yang mirip dengan data pelatihan, sehingga jika ada data yang tidak sama dengan data pelatihan dalam setiap kondisi maka data tersebut tidak akan terdeteksi.

5.2 Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka ada beberapa masukan untuk penelitian selanjutnya:

1. Dalam penelitian berikutnya, diharapkan ada parameter lain selain energi yang dapat membedakan antara kondisi normal dan kondisi kerusakan.
2. Untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan penelitian dengan membandingkan deteksi kerusakan pada saat motor starting dan ketika steady state. Sebaiknya dilakukan penelitian dengan menggunakan beberapa metode untuk analisa kerusakan.



--- Halaman ini sengaja dikosongkan ---

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R.R. Schoen, T.G. Habetler, F.Kamran, and R.G. Bartheld, “*Motor Bearing Damage Detection Using Stator Current Monitoring*” *IEEE* 1994, hal. 110.
- [2] Reemon Z.Haddad, Cristian A.Lopez, Joan Pons-Linares, Jose Antonio-Daviu and Elias G.Stranger, “*Outer Race Bearing Fault Detection In Induction Machines Using Stator Current Signals*” *IEEE* 2015, hal. 801.
- [3] Chapman, Stephen J., “*Electric Machinery Fundamentals Fourth Edition*”, McGraw-Hill Companies, Australia, 2005. Hal.382-383
- [4] D-M Yang, “*Induction Motor Bearing Fault Detection Using Wavelet-Based Enveloped Analysis*” *international symposium on computer, consumer and control*, 2014, hal. 1241.
- [5] Izzet Y Onel, K.Burak Dalci and Ibrahim Senol, “*Detection Of Outer Raceway Bearing Defects In Small Induction Motor Using Stator Current Analysis*” *sadhana* Vol 30, part 6, December 2005, hal. 713-716.
- [6] R.Supangat, N.Ertugal, W.L.Soong, D.A Gray, C.Hansen and J.Grieger, “*Detection Of Broken Rotor Bars Using In Induction Motor Using Starting-Current Analysis And Effects Of Loading*” *The Institution Of Engineering And Tecnology* 2006, *Iee Proc.Electr.Power Appl.*, Vol.153, No.6, November 2006, hal. 848-855.
- [7] Levent Erent dan Michael J. Devaney, “*Motor Bearing Damage Detection Via Wavelet Analysis Of The Starting Current Transient*” *IEEE Instrumentation Dan Measurement Tecnology Conference*, Hungary may 21-23, 2001, hal. 1798.
- [8] Widodo Budi Harto, Derwin Suhartono “*Artificial Intelligence, Konsep dan Penerapannya*” ANDI, Yogyakarta, 2014. Hal. 169-170
- [9] Mauridhi Hery Purnomo, Agus Kurniawan, “*Supervised Neural Network dan Aplikasinya*” Graha Ilmu, Yogyakarta, 2006. Hal. 2-9
- [10] Chul Hwan Kim and Raj Anggarwal “*Wavelet Transformasi In Power Systems*” *Power Engineering Journal*, April 2000. Hal.82
- [11] Sonisa Sormuang and Jittiwut Suwathikul “*Detection Of Motor Bearing Shield Fault Using Neural Network*” *SICE Annual conference* 2011, waseda university, tokyo, japan. Hal. 1261
- [12] C Sydney Burrus, Ramesh A.Gopinath and Haitao Guo “*Introduction To Wavelet and Wavelets Transforms*” Prentice Hall, New Jersey, 1998. Hal.1



[13] Zuhal “*Dasar Teknik Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya*” Gramedia
Pustaka Utama, Jakarta, 2000.

[14] Kusumadewi, Sri “*Membangun Jaringan Saraf Tiruan Menggunakan Matlab
Dan Excel Link*” Graha Ilmu, Yogyakarta, 2004.

VARIASI KASUS DATA FASA R

KONDISI	KASUS	PEMBEBANAN	PERCOBAAN	INPUT				OUTPUT
				CE1	CE2	CE4	CE5	
normal		0	1	44,7070	36,4525	0,9867	0,4692	1
normal		0	2	44,7070	36,4525	0,9867	0,4692	1
normal		0	3	44,7070	36,4525	0,9867	0,4692	1
normal		0	4	44,7070	36,4525	0,9867	0,4692	1
normal		0	5	44,7070	36,4525	0,9867	0,4692	1
normal		25	1	54,2456	57,8577	56,7267	54,8740	1
normal		25	2	54,2456	57,8577	56,7267	54,8740	1
normal		25	3	54,2456	57,8577	56,7267	54,8740	1
normal		25	4	54,2456	57,8577	56,7267	54,8740	1
normal		25	5	54,2456	57,8577	56,7267	54,8740	1
normal		50	1	46,1073	55,3323	51,8496	50,6980	1
normal		50	2	46,1073	55,3323	51,8496	50,6980	1
normal		50	3	46,1073	55,3323	51,8496	50,6980	1
normal		50	4	46,1073	55,3323	51,8496	50,6980	1
normal		50	5	46,1073	55,3323	51,8496	50,6980	1
normal		75	1	46,5276	49,9165	50,8284	51,2027	1
normal		75	2	46,5276	49,9165	50,8284	51,2027	1
normal		75	3	46,5276	49,9165	50,8284	51,2027	1
normal		75	4	46,5276	49,9165	50,8284	51,2027	1
normal		75	5	46,5276	49,9165	50,8284	51,2027	1
normal		100	1	68,0977	57,8247	54,9577	54,4845	1
normal		100	2	68,0977	57,8247	54,9577	54,4845	1
normal		100	3	68,0977	57,8247	54,9577	54,4845	1
normal		100	4	68,0977	57,8247	54,9577	54,4845	1
normal		100	5	68,0977	57,8247	54,9577	54,4845	1
Inner	1mm	0	1	42,2120	39,7780	1,3074	0,6325	2
Inner	1mm	0	2	56,8949	27,8456	0,7248	0,4414	2
Inner	1mm	0	3	48,2523	27,9451	0,8139	0,4139	2
Inner	1mm	0	4	43,8999	27,7661	0,8175	0,4958	2
Inner	1mm	0	5	48,3836	29,1029	0,7612	0,4215	2
Inner	2mm	0	1	48,2638	25,7330	1,0047	0,6644	2
Inner	2mm	0	2	35,5141	29,7422	0,8277	0,3747	2
Inner	2mm	0	3	45,0018	27,8578	0,9405	0,4083	2
Inner	2mm	0	4	35,5299	29,7422	0,8273	0,3758	2
Inner	2mm	0	5	36,7653	32,2720	1,2528	0,5846	2
Inner	3mm	0	1	56,8973	27,8469	0,7239	0,4414	2
Inner	3mm	0	2	41,2798	28,8925	0,8788	0,388	2
Inner	3mm	0	3	50,2734	31,1	0,58	0,45	2

Inner	3mm	0	4	53,8913	31,0965	0,61	0,4587	2
Inner	3mm	0	5	47,8907	26,4762	0,825	0,4247	2
Inner	4mm	0	1	36,7653	32,2720	1,2528	0,5846	2
Inner	4mm	0	2	48,681	33,841	0,7345	0,5057	2
Inner	4mm	0	3	39,1729	26,678	0,7708	0,3971	2
Inner	4mm	0	4	48,0007	26,479	0,8215	0,4238	2
Inner	4mm	0	5	44,2018	31,0955	0,6378	0,4028	2
Inner	5mm	0	1	48,9831	33,0528	0,8255	0,5514	2
Inner	5mm	0	2	40,6271	29,0936	0,7849	0,4755	2
Inner	5mm	0	3	49,8688	25,6621	0,7516	0,5043	2
Inner	5mm	0	4	54,5433	27,7643	0,7755	0,5208	2
Inner	5mm	0	5	43,9111	27,766	0,8175	0,4958	2
Inner	1mm	25	1	42,5369	61,7533	58,6221	58,298	2
Inner	1mm	25	2	49,7896	59,1218	56,1399	55,3939	2
Inner	1mm	25	3	48,9738	53,6134	56,8351	55,1732	2
Inner	1mm	25	4	66,3107	58,0684	57,2393	55,3842	2
Inner	1mm	25	5	69,4635	59,2743	57,4744	56,1825	2
Inner	2mm	25	1	63,215	52,5084	47,8676	53,0439	2
Inner	2mm	25	2	38,5567	58,6167	49,4326	48,9666	2
Inner	2mm	25	3	40,9109	57,2701	50,4844	48,6523	2
Inner	2mm	25	4	46,868	56,6941	51,7558	51,1813	2
Inner	2mm	25	5	64,1388	51,5566	49,9515	52,7742	2
Inner	3mm	25	1	60,7281	52,0994	56,0778	54,7656	2
Inner	3mm	25	2	38,438	57,6956	59,4878	53,7852	2
Inner	3mm	25	3	54,3887	59,0135	51,917	52,7411	2
Inner	3mm	25	4	48,3819	59,6458	52,7973	51,6776	2
Inner	3mm	25	5	57,9196	57,6024	57,5342	56,2766	2
Inner	4mm	25	1	65,1818	53,2716	55,7553	55,1126	2
Inner	4mm	25	2	52,456	56,5725	50,1999	52,0142	2
Inner	4mm	25	3	63,2152	52,5084	47,8656	53,0429	2
Inner	4mm	25	4	48,0378	55,8131	51,138	53,7758	2
Inner	4mm	25	5	54,3871	59,0155	51,9107	52,7411	2
Inner	5mm	25	1	69,4625	59,2743	57,4744	56,1869	2
Inner	5mm	25	2	66,4775	55,3004	55,4792	53,9106	2
Inner	5mm	25	3	64,1336	51,5786	49,9445	52,7742	2
Inner	5mm	25	4	52,6461	57,6825	54,2771	55,584	2
Inner	5mm	25	5	57,9286	57,6024	57,5342	56,2756	2
Inner	1mm	50	1	63,72	51,9745	55,5637	54,5353	2
Inner	1mm	50	2	49,3299	56,7706	56,8446	54,3076	2
Inner	1mm	50	3	37,3407	54,3607	59,6489	56,4806	2
Inner	1mm	50	4	69,2491	57,9665	56,9885	54,9097	2

Inner	1mm	50	5	53,4302	59,4992	55,7655	54,5666	2
Inner	2mm	50	1	42,2253	54,3474	53,5318	52,3682	2
Inner	2mm	50	2	37,5974	57,2461	50,3655	53,2403	2
Inner	2mm	50	3	35,6229	56,2385	56,4718	55,6094	2
Inner	2mm	50	4	56,6261	54,6171	50,7596	54,0292	2
Inner	2mm	50	5	63,7206	51,9729	55,5637	54,5373	2
Inner	3mm	50	1	53,4389	50,2765	55,8514	56,6928	2
Inner	3mm	50	2	33,9101	59,7845	48,7786	48,4715	2
Inner	3mm	50	3	33,9101	59,7845	48,7786	48,4715	2
Inner	3mm	50	4	45,2297	50,9514	55,9876	55,9483	2
Inner	3mm	50	5	49,7448	59,4992	55,7655	54,5666	2
Inner	4mm	50	1	66,0611	58,3468	52,5235	54,9935	2
Inner	4mm	50	2	58,8918	56,2221	53,7372	53,6606	2
Inner	4mm	50	3	45,3263	56,6199	49,4012	50,0664	2
Inner	4mm	50	4	45,2238	50,9548	55,9876	55,9423	2
Inner	4mm	50	5	33,1543	57,9661	55,333	55,1815	2
Inner	5mm	50	1	71,6161	59,5947	56,5607	55,3434	2
Inner	5mm	50	2	57,7981	56,8433	56,756	54,1044	2
Inner	5mm	50	3	48,5286	55,9108	56,9288	54,5006	2
Inner	5mm	50	4	53,2883	56,6116	56,3364	55,7889	2
Inner	5mm	50	5	59,8167	58,7737	57,4838	55,0464	2
Inner	1mm	75	1	62,1045	58,3165	56,7946	54,3489	2
Inner	1mm	75	2	44,8247	57,7559	54,4428	54,2376	2
Inner	1mm	75	3	56,0129	54,7755	55,5739	54,7639	2
Inner	1mm	75	4	57,2675	49,6158	53,9456	54,4722	2
Inner	1mm	75	5	60,6192	57,3446	51,6605	54,9401	2
Inner	2mm	75	1	56,0138	54,7755	55,5739	54,7739	2
Inner	2mm	75	2	45,0362	57,1704	49,7568	50,2236	2
Inner	2mm	75	3	40,56	58,7737	57,4838	55,0464	2
Inner	2mm	75	4	41,0775	56,9763	51,2252	54,2058	2
Inner	2mm	75	5	37,4198	55,4101	58,2664	52,7272	2
Inner	3mm	75	1	36,5259	56,4522	53,6431	53,6417	2
Inner	3mm	75	2	54,8119	55,6894	51,5572	50,7304	2
Inner	3mm	75	3	46,993	56,0191	50,5035	49,5383	2
Inner	3mm	75	4	63,323	51,3425	50,5976	51,8601	2
Inner	3mm	75	5	54,8217	55,6894	51,5572	50,7304	2
Inner	4mm	75	1	52,7485	52,0016	50,055	49,1516	2
Inner	4mm	75	2	66,3569	53,7041	51,356	54,2951	2
Inner	4mm	75	3	57,2672	49,6158	53,9456	54,4722	2
Inner	4mm	75	4	39,802	50,5421	55,8959	53,4189	2
Inner	4mm	75	5	52,6285	52,0046	50,0553	49,1509	2

Inner	5mm	75	1	42,4365	56,9675	55,3056	55,113	2
Inner	5mm	75	2	47,6005	57,8226	54,9275	54,3509	2
Inner	5mm	75	3	44,5723	56,8447	55,7728	55,2751	2
Inner	5mm	75	4	39,273	55,0783	56,4614	55,4702	2
Inner	5mm	75	5	62,1038	58,316	56,7946	54,3489	2
Inner	1mm	100	1	65,7662	58,9283	55,4716	54,2112	2
Inner	1mm	100	2	40,5623	56,0145	52,3825	48,2554	2
Inner	1mm	100	3	56,3992	56,5725	53,7603	52,9749	2
Inner	1mm	100	4	43,4307	57,2365	52,1334	53,6768	2
Inner	1mm	100	5	42,4526	55,7074	51,4671	51,911	2
Inner	2mm	100	1	71,0489	60,3591	58,5378	57,364	2
Inner	2mm	100	2	37,1405	54,7045	54,4464	54,7434	2
Inner	2mm	100	3	49,4576	56,9204	50,4219	53,4943	2
Inner	2mm	100	4	52,857	57,327	49,7783	53,957	2
Inner	2mm	100	5	51,6736	58,5131	55,3856	56,1802	2
Inner	3mm	100	1	52,7544	49,1752	53,5473	54,8574	2
Inner	3mm	100	2	58,831	49,6643	55,1353	54,0704	2
Inner	3mm	100	3	58,831	49,6643	55,1353	54,0704	2
Inner	3mm	100	4	60,3237	55,5122	52,3427	53,0534	2
Inner	3mm	100	5	61,8672	55,4204	49,4415	53,5607	2
Inner	4mm	100	1	64,1513	53,7337	56,3403	56,3929	2
Inner	4mm	100	2	34,8272	53,5157	57,676	54,2508	2
Inner	4mm	100	3	46,7997	58,9998	54,2468	55,6663	2
Inner	4mm	100	4	42,4577	55,7024	51,4632	51,911	2
Inner	4mm	100	5	34,8268	53,5254	57,6761	54,2508	2
Inner	5mm	100	1	70,3658	56,7874	55,4731	54,1446	2
Inner	5mm	100	2	56,3893	56,5725	53,7693	52,9749	2
Inner	5mm	100	3	43,1212	56,8047	53,9456	53,1832	2
Inner	5mm	100	4	51,6724	58,5131	55,3856	56,1802	2
Inner	5mm	100	5	53,597	57,312	54,8997	53,3404	2
outter	1mm	0	1	46,6850	26,0896	0,8233	0,4331	3
outter	1mm	0	2	36,5559	38,3692	1,1301	0,5176	3
outter	1mm	0	3	55,4623	32,6384	0,8538	0,6018	3
outter	1mm	0	4	53,9665	32,8922	0,8392	0,6017	3
outter	1mm	0	5	53,9665	32,8922	0,8392	0,6017	3
outter	2mm	0	1	41,1997	29,3874	0,9039	0,3273	3
outter	2mm	0	2	59,0052	34,3187	1,1797	0,7628	3
outter	2mm	0	3	38,3717	35,3273	0,7464	0,3205	3
outter	2mm	0	4	42,1237	34,0459	1,4625	0,6541	3
outter	2mm	0	5	58,6131	33,1938	1,1215	0,7533	3
outter	3mm	0	1	46,6517	27,0829	0,3957	0,3762	3

outter	3mm	0	2	36,9258	36,7961	1,0568	0,5579	3
outter	3mm	0	3	54,6125	31,4788	1,1115	0,7181	3
outter	3mm	0	4	54,6125	31,4788	1,1115	0,7181	3
outter	3mm	0	5	32,1272	29,1683	0,9482	0,6878	3
outter	4mm	0	1	49,6649	30,3086	0,5568	0,3784	3
outter	4mm	0	2	55,8162	32,5263	1,0411	0,7165	3
outter	4mm	0	3	50,5121	35,5378	1,1142	0,7	3
outter	4mm	0	4	37,6331	36,1754	0,955	0,5504	3
outter	4mm	0	5	55,829	32,5876	1,0353	0,7087	3
outter	5mm	0	1	42,1234	34,0554	1,4625	0,6541	3
outter	5mm	0	2	55,5378	32,7043	1,1052	0,6136	3
outter	5mm	0	3	40,7227	34,2438	1,0609	0,4966	3
outter	5mm	0	4	44,2452	26,1654	0,8709	0,4097	3
outter	5mm	0	5	44,2452	26,1654	0,8709	0,4097	3
outter	1mm	25	1	61,0026	58,4274	54,8652	54,8618	3
outter	1mm	25	2	53,7993	62,702	58,3298	57,6189	3
outter	1mm	25	3	66,2429	59,4551	56,6271	55,8486	3
outter	1mm	25	4	38,4972	61,4088	53,6797	55,0813	3
outter	1mm	25	5	41,0441	58,6707	57,904	58,5889	3
outter	2mm	25	1	35,8118	57,0487	54,0223	53,166	3
outter	2mm	25	2	53,7993	62,702	58,3298	57,6189	3
outter	2mm	25	3	42,9694	58,9273	57,8103	56,9982	3
outter	2mm	25	4	46,4421	54,2358	53,7599	53,8982	3
outter	2mm	25	5	46,8983	55,347	52,0233	52,39	3
outter	3mm	25	1	52,7153	52,4941	53,3617	52,3193	3
outter	3mm	25	2	64,562	59,055	56,5763	55,4085	3
outter	3mm	25	3	68,9164	56,9874	55,8742	54,717	3
outter	3mm	25	4	66,5373	58,2168	56,6352	54,8815	3
outter	3mm	25	5	40,8928	52,8734	53,2809	53,7462	3
outter	4mm	25	1	42,8157	56,1881	53,7655	51,3414	3
outter	4mm	25	2	69,954	58,6735	57,1958	55,7246	3
outter	4mm	25	3	66,0253	60,8161	57,3471	55,4673	3
outter	4mm	25	4	47,6525	55,7681	55,6675	53,5139	3
outter	4mm	25	5	46,4421	54,2358	53,7599	53,8982	3
outter	5mm	25	1	45,1285	53,9281	53,5847	54,2637	3
outter	5mm	25	2	65,7581	57,4935	55,2262	53,8889	3
outter	5mm	25	3	66,1753	57,479	55,1349	53,8943	3
outter	5mm	25	4	66,3907	58,4153	54,7843	54,7698	3
outter	5mm	25	5	47,6525	55,7681	55,6675	53,5139	3
outter	1mm	50	1	62,1543	59,6426	57,4845	56,9342	3
outter	1mm	50	2	66,3237	57,6144	57,8436	56,3893	3

outter	1mm	50	3	63,6945	57,9617	55,9767	56,1043	3
outter	1mm	50	4	63,3449	56,4481	55,909	55,4556	3
outter	1mm	50	5	62,5524	58,6574	56,5865	56,6073	3
outter	2mm	50	1	58,3711	56,985	53,372	53,6399	3
outter	2mm	50	2	46,4589	56,4832	54,9915	55,5393	3
outter	2mm	50	3	68,0566	57,6552	57,9469	57,0762	3
outter	2mm	50	4	51,7384	58,6572	57,389	56,8573	3
outter	2mm	50	5	69,3203	61,5269	57,5626	56,7405	3
outter	3mm	50	1	62,5524	58,6574	56,5865	56,6073	3
outter	3mm	50	2	62,4369	59,118	57,2253	56,3093	3
outter	3mm	50	3	62,3735	59,1416	57,2247	56,2727	3
outter	3mm	50	4	67,8321	58,3367	56,1767	55,1862	3
outter	3mm	50	5	67,8321	58,3367	56,1767	55,1862	3
outter	4mm	50	1	51,9546	55,5368	51,8094	52,5381	3
outter	4mm	50	2	66,4623	59,7934	57,4879	55,8625	3
outter	4mm	50	3	70,0354	58,0391	56,5607	55,2122	3
outter	4mm	50	4	64,088	57,2858	55,1027	54,2548	3
outter	4mm	50	5	46,4589	56,4832	54,9915	55,5393	3
outter	5mm	50	1	55,0166	54,958	52,7645	51,7805	3
outter	5mm	50	2	41,8861	53,6977	55,23	55,7366	3
outter	5mm	50	3	65,4276	59,4637	56,7489	55,8692	3
outter	5mm	50	4	65,6463	55,8549	54,2026	53,5156	3
outter	5mm	50	5	65,6463	55,8549	54,2026	53,5156	3
outter	1mm	75	1	56,5341	55,3029	55,0918	55,3091	3
outter	1mm	75	2	71,4152	58,2728	57,9319	56,4079	3
outter	1mm	75	3	50,6853	60,4252	56,7853	57,8429	3
outter	1mm	75	4	69,2102	53,9685	56,0372	55,8274	3
outter	1mm	75	5	69,2102	53,9685	56,0372	55,8274	3
outter	2mm	75	1	37,7832	51,3605	52,7993	53,2451	3
outter	2mm	75	2	57,881	60,0438	58,3817	56,3855	3
outter	2mm	75	3	63,7703	54,6848	56,863	55,474	3
outter	2mm	75	4	47,3959	53,7664	53,7847	53,8606	3
outter	2mm	75	5	66,4623	59,7934	57,4879	55,8625	3
outter	3mm	75	1	46,1829	53,5849	53,1466	53,078	3
outter	3mm	75	2	57,0567	58,0798	58,0459	57,5833	3
outter	3mm	75	3	50,3746	59,4599	57,1939	56,1231	3
outter	3mm	75	4	49,505	53,2544	53,0425	52,5303	3
outter	3mm	75	5	40,7173	58,5205	55,9809	55,7636	3
outter	4mm	75	1	41,9277	54,857	55,7363	54,1879	3
outter	4mm	75	2	64,8027	58,6477	56,0108	54,9652	3
outter	4mm	75	3	40,719	58,5205	55,9802	55,7636	3

outter	4mm	75	4	37,6898	56,8403	55,3778	55,3164	3
outter	4mm	75	5	56,5141	55,3026	55,0907	55,3091	3
outter	5mm	75	1	39,3439	52,9178	52,045	51,9279	3
outter	5mm	75	2	65,9478	57,5037	55,8137	55,1066	3
outter	5mm	75	3	70,0317	56,8727	55,7474	54,2913	3
outter	5mm	75	4	36,6452	53,5063	51,2702	51,2971	3
outter	5mm	75	5	65,9449	56,8403	55,3778	55,3164	3
outter	1mm	100	1	63,9474	61,1534	59,0475	57,3872	3
outter	1mm	100	2	70,0018	58,6129	58,5421	57,1647	3
outter	1mm	100	3	69,7655	61,5277	57,5649	56,7461	3
outter	1mm	100	4	41,0441	58,6707	57,904	58,5889	3
outter	1mm	100	5	63,9485	61,1554	59,0475	57,3872	3
outter	2mm	100	1	63,7081	57,7378	55,9396	55,9858	3
outter	2mm	100	2	55,6402	54,5932	56,7567	56,138	3
outter	2mm	100	3	47,6424	55,2698	51,9959	52,4373	3
outter	2mm	100	4	46,8983	55,347	52,0233	52,39	3
outter	2mm	100	5	59,8607	56,2732	55,8572	56,5977	3
outter	3mm	100	1	43,827	49,2959	53,6449	52,7469	3
outter	3mm	100	2	37,773	62,2594	58,8676	56,3498	3
outter	3mm	100	3	37,773	62,2594	58,8676	56,3498	3
outter	3mm	100	4	40,8928	52,8734	53,2809	53,7462	3
outter	3mm	100	5	65,177	60,1648	57,8691	56,0587	3
outter	4mm	100	1	49,2793	55,6284	55,1178	53,1838	3
outter	4mm	100	2	49,9371	55,7066	55,1038	53,1023	3
outter	4mm	100	3	68,2207	59,3827	55,4929	55,2452	3
outter	4mm	100	4	46,4421	54,2358	53,7599	53,8982	3
outter	4mm	100	5	64,9466	57,5907	55,9178	54,9412	3
outter	5mm	100	1	59,8699	56,2732	55,8578	52,2479	3
outter	5mm	100	2	59,9794	61,5269	57,5626	56,5977	3
outter	5mm	100	3	69,3264	59,4298	56,5636	56,7405	3
outter	5mm	100	4	39,2928	55,4121	52,5379	50,5348	3
outter	5mm	100	5	63,7081	57,7378	55,9396	55,9858	3
ball	1ball	0	1	40,5985	32,8881	0,8983	0,352	4
ball	1ball	0	2	35,2613	35,3877	1,0418	0,4519	4
ball	1ball	0	3	41,7788	38,0341	0,9522	0,5564	4
ball	1ball	0	4	40,8026	37,2301	0,9545	0,5444	4
ball	1ball	0	5	35,5753	37,1577	1,0653	0,5615	4
ball	2ball	0	1	40,8196	37,2306	0,9545	0,5444	4
ball	2ball	0	2	34,9844	35,6489	1,0988	0,5608	4
ball	2ball	0	3	38,9797	34,9353	0,9916	0,5482	4
ball	2ball	0	4	35,587	29,8516	0,7846	0,3066	4

ball	2ball	0	5	35,587	29,8516	0,7846	0,3066	4
ball	3ball	0	1	36,8787	37,7053	0,8418	0,4375	4
ball	3ball	0	2	35,2601	35,3844	1,0418	0,4519	4
ball	3ball	0	3	48,1522	34,1559	0,8456	0,5038	4
ball	3ball	0	4	52,8278	30,5578	0,8234	0,5498	4
ball	3ball	0	5	44,468	30,6883	1,1903	0,4908	4
ball	1ball	25	1	43,8103	60,1817	54,1323	56,4267	4
ball	1ball	25	2	46,8329	59,0885	57,2767	57,9865	4
ball	1ball	25	3	59,2483	47,6383	51,4911	53,9462	4
ball	1ball	25	4	44,9902	58,0881	55,6037	55,8421	4
ball	1ball	25	5	63,0296	50,1839	53,7977	56,421	4
ball	2ball	25	1	35,561	56,9706	48,3937	47,6915	4
ball	2ball	25	2	53,1614	47,7204	53,4003	53,1126	4
ball	2ball	25	3	60,6746	50,53	54,1122	53,1293	4
ball	2ball	25	4	59,2488	47,6383	51,491	53,9462	4
ball	2ball	25	5	57,8506	48,1568	53,0672	54,7589	4
ball	3ball	25	1	44,9919	58,088	55,6037	55,8421	4
ball	3ball	25	2	49,4675	50,0718	55,9757	54,1775	4
ball	3ball	25	3	37,1863	58,6259	55,2398	54,7391	4
ball	3ball	25	4	58,1898	56,73	54,9749	56,2099	4
ball	3ball	25	5	46,8329	59,0885	57,2767	57,9865	4
ball	1ball	50	1	60,7818	59,7924	55,3689	55,9815	4
ball	1ball	50	2	59,2009	58,7789	55,9647	56,1245	4
ball	1ball	50	3	42,4136	55,3123	55,6612	57,1817	4
ball	1ball	50	4	65,7729	59,5699	55,6183	54,4321	4
ball	1ball	50	5	66,8041	55,119	55,6747	54,3293	4
ball	2ball	50	1	62,4579	48,8523	52,1768	55,3037	4
ball	2ball	50	2	36,4035	58,9861	54,5556	55,6638	4
ball	2ball	50	3	51,1007	56,0255	50,4394	53,8833	4
ball	2ball	50	4	55,93	48,5811	53,5639	52,9029	4
ball	2ball	50	5	37,5892	55,6846	56,8565	54,7354	4
ball	3ball	50	1	36,4068	56,9567	56,0738	56,5121	4
ball	3ball	50	2	60,7901	59,7924	55,3689	55,9815	4
ball	3ball	50	3	63,726	54,0641	54,9344	53,6591	4
ball	3ball	50	4	38,7138	59,4064	55,8588	53,8376	4
ball	3ball	50	5	59,2016	58,7789	55,9647	56,1245	4
ball	1ball	75	1	40,0168	52,9664	56,6193	55,8184	4
ball	1ball	75	2	69,4205	57,4609	55,379	55,1095	4
ball	1ball	75	3	68,3826	56,9831	55,8554	54,4306	4
ball	1ball	75	4	69,0264	58,9861	54,5556	55,6638	4
ball	1ball	75	5	38,6201	59,2369	57,0147	53,2413	4

ball	2ball	75	1	32,1145	56,7995	52,9294	54,1392	4
ball	2ball	75	2	59,7034	48,0726	54,1475	55,3403	4
ball	2ball	75	3	62,2898	51,8482	54,4589	53,1063	4
ball	2ball	75	4	62,4567	48,8622	52,1768	55,3078	4
ball	2ball	75	5	56,0144	56,1865	53,5858	54,893	4
ball	3ball	75	1	38,7138	59,4064	55,8588	53,8376	4
ball	3ball	75	2	51,5803	50,1689	54,9017	53,5364	4
ball	3ball	75	3	38,6256	59,2319	57,0147	53,2413	4
ball	3ball	75	4	49,3222	51,404	55,6413	54,2395	4
ball	3ball	75	5	54,3057	49,8129	53,4493	53,2856	4
ball	1ball	100	1	49,9061	54,4097	54,7674	53,4929	4
ball	1ball	100	2	39,6331	56,6909	55,7247	53,4978	4
ball	1ball	100	3	42,1249	55,5059	54,5774	55,4911	4
ball	1ball	100	4	41,4949	57,5192	54,8402	54,9311	4
ball	1ball	100	5	66,4947	59,6154	55,4919	55,4221	4
ball	2ball	100	1	40,0949	50,808	54,5538	52,7168	4
ball	2ball	100	2	60,7144	51,4635	54,7283	53,8842	4
ball	2ball	100	3	33,9424	58,9323	54,3623	51,3642	4
ball	2ball	100	4	60,7106	51,4636	54,728	53,8842	4
ball	2ball	100	5	41,4923	57,5197	54,8402	54,9311	4
ball	3ball	100	1	54,5141	56,285	52,5131	53,4066	4
ball	3ball	100	2	61,0324	48,7664	49,4878	52,3144	4
ball	3ball	100	3	61,0344	48,7264	49,4878	52,3144	4
ball	3ball	100	4	54,9897	51,8333	54,122	53,6684	4
ball	3ball	100	5	58,3193	51,2655	55,0841	54,0457	4

VARIASI KASUS DATA FASA S

KONDISI	KASUS	BEBAN	PERCOBAAN	INPUT				OUTPUT
				CE1	CE2	CE4	CE5	
normal		0	1	8,57E+35	7,90E+35	8,34E+35	5,69E+35	1
normal		0	2	8,57E+35	7,90E+35	8,34E+35	5,69E+35	1
normal		0	3	8,57E+35	7,90E+35	8,34E+35	5,69E+35	1
normal		0	4	8,57E+35	7,90E+35	8,34E+35	5,69E+35	1
normal		0	5	8,57E+35	7,90E+35	8,34E+35	5,69E+35	1
normal		25	1	3,56E+35	4,88E+35	4,91E+35	5,01E+35	1
normal		25	2	3,56E+35	4,88E+35	4,91E+35	5,01E+35	1
normal		25	3	3,56E+35	4,88E+35	4,91E+35	5,01E+35	1
normal		25	4	3,56E+35	4,88E+35	4,91E+35	5,01E+35	1
normal		25	5	3,56E+35	4,88E+35	4,91E+35	5,01E+35	1
normal		50	1	5,73E+35	5,20E+35	4,67E+35	4,55E+35	1
normal		50	2	5,73E+35	5,20E+35	4,67E+35	4,55E+35	1
normal		50	3	5,73E+35	5,20E+35	4,67E+35	4,55E+35	1
normal		50	4	5,73E+35	5,20E+35	4,67E+35	4,55E+35	1
normal		50	5	5,73E+35	5,20E+35	4,67E+35	4,55E+35	1
normal		75	1	6,63E+35	6,16E+35	4,71E+35	4,69E+35	1
normal		75	2	6,63E+35	6,16E+35	4,71E+35	4,69E+35	1
normal		75	3	6,63E+35	6,16E+35	4,71E+35	4,69E+35	1
normal		75	4	6,63E+35	6,16E+35	4,71E+35	4,69E+35	1
normal		75	5	6,63E+35	6,16E+35	4,71E+35	4,69E+35	1
normal		100	1	6,21E+35	7,10E+35	5,77E+35	5,81E+35	1
normal		100	2	6,21E+35	7,10E+35	5,77E+35	5,81E+35	1
normal		100	3	6,21E+35	7,10E+35	5,77E+35	5,81E+35	1
normal		100	4	6,21E+35	7,10E+35	5,77E+35	5,81E+35	1
normal		100	5	6,21E+35	7,10E+35	5,77E+35	5,81E+35	1
Inner	1mm	0	1	3,38E+35	3,54E+35	8,91E+33	5,18E+33	2
Inner	1mm	0	2	3,20E+35	3,45E+35	9,06E+33	4,71E+33	2
Inner	1mm	0	3	3,92E+35	3,55E+35	8,48E+33	5,08E+33	2
Inner	1mm	0	4	3,79E+35	3,64E+35	9,03E+33	5,61E+33	2
Inner	1mm	0	5	3,38E+35	3,54E+35	8,91E+33	5,18E+33	2
Inner	2mm	0	1	4,60E+35	2,82E+35	7,02E+33	6,13E+33	2
Inner	2mm	0	2	4,05E+35	3,21E+35	8,03E+33	5,39E+33	2
Inner	2mm	0	3	3,24E+35	3,39E+35	9,74E+33	5,33E+33	2
Inner	2mm	0	4	4,83E+35	2,92E+35	8,09E+33	6,08E+33	2
Inner	2mm	0	5	4,60E+35	2,82E+35	7,03E+33	6,14E+33	2
Inner	3mm	0	1	3,10E+35	3,33E+35	9,32E+33	5,55E+33	2
Inner	3mm	0	2	3,68E+35	3,46E+35	8,73E+33	5,51E+33	2
Inner	3mm	0	3	4,37E+35	2,46E+35	8,16E+33	5,92E+33	2

Inner	3mm	0	4	4,11E+35	2,94E+35	9,51E+33	5,52E+33	2
Inner	3mm	0	5	3,20E+35	3,33E+35	9,32E+33	5,54E+33	2
Inner	4mm	0	1	4,98E+35	2,49E+35	7,29E+33	5,89E+33	2
Inner	4mm	0	2	4,62E+35	2,70E+35	9,55E+33	5,86E+33	2
Inner	4mm	0	3	3,73E+35	3,01E+35	8,21E+33	5,25E+33	2
Inner	4mm	0	4	3,49E+35	3,13E+35	9,13E+33	5,07E+33	2
Inner	4mm	0	5	4,98E+35	2,49E+35	7,29E+33	5,89E+33	2
Inner	5mm	0	1	3,07E+35	3,25E+35	9,89E+33	5,27E+33	2
Inner	5mm	0	2	3,59E+35	3,02E+35	9,08E+33	5,31E+33	2
Inner	5mm	0	3	3,21E+35	3,17E+35	8,44E+33	6,25E+33	2
Inner	5mm	0	4	3,35E+35	2,97E+35	9,80E+33	5,30E+33	2
Inner	5mm	0	5	3,59E+35	3,02E+35	9,08E+33	5,32E+33	2
Inner	1mm	25	1	6,47E+35	5,65E+35	5,33E+35	5,07E+35	2
Inner	1mm	25	2	3,49E+35	5,46E+35	5,26E+35	5,20E+35	2
Inner	1mm	25	3	6,65E+35	5,29E+35	5,29E+35	5,00E+35	2
Inner	1mm	25	4	3,86E+35	5,37E+35	5,44E+35	5,24E+35	2
Inner	1mm	25	5	3,49E+35	5,46E+35	5,26E+35	5,20E+35	2
Inner	2mm	25	1	3,49E+35	5,15E+35	5,45E+35	4,80E+35	2
Inner	2mm	25	2	2,99E+35	5,20E+35	4,72E+35	4,54E+35	2
Inner	2mm	25	3	3,65E+35	4,80E+35	5,16E+35	4,95E+35	2
Inner	2mm	25	4	3,63E+35	5,21E+35	5,27E+35	5,25E+35	2
Inner	2mm	25	5	2,99E+35	5,20E+35	4,72E+35	4,54E+35	2
Inner	3mm	25	1	3,67E+35	5,10E+35	5,16E+35	5,02E+35	2
Inner	3mm	25	2	6,22E+35	4,89E+35	4,56E+35	4,91E+35	2
Inner	3mm	25	3	3,77E+35	5,03E+35	5,32E+35	4,92E+35	2
Inner	3mm	25	4	3,57E+35	5,20E+35	5,29E+35	5,09E+35	2
Inner	3mm	25	5	6,22E+35	4,89E+35	4,56E+35	4,91E+35	2
Inner	4mm	25	1	3,58E+35	4,74E+35	5,17E+35	4,95E+35	2
Inner	4mm	25	2	3,26E+35	4,80E+35	5,36E+35	5,18E+35	2
Inner	4mm	25	3	3,26E+35	3,26E+35	5,04E+35	4,93E+35	2
Inner	4mm	25	4	3,41E+35	4,93E+35	5,31E+35	5,09E+35	2
Inner	4mm	25	5	3,26E+35	3,26E+35	5,04E+35	4,94E+35	2
Inner	5mm	25	1	4,00E+35	5,57E+35	5,26E+35	5,03E+35	2
Inner	5mm	25	2	5,58E+35	5,58E+35	5,08E+35	5,14E+35	2
Inner	5mm	25	3	6,67E+35	5,61E+35	5,16E+35	5,11E+35	2
Inner	5mm	25	4	4,42E+35	5,38E+35	5,23E+35	5,17E+35	2
Inner	5mm	25	5	4,42E+35	5,38E+35	5,23E+35	5,17E+35	2
Inner	1mm	50	1	3,28E+35	5,27E+35	5,20E+35	5,20E+35	2
Inner	1mm	50	2	3,81E+35	4,93E+35	5,10E+35	5,12E+35	2
Inner	1mm	50	3	5,77E+35	4,90E+35	5,00E+35	5,17E+35	2
Inner	1mm	50	4	3,18E+35	4,24E+35	5,26E+35	5,04E+35	2

Inner	1mm	50	5	3,18E+35	4,24E+35	5,25E+35	5,03E+35	2
Inner	2mm	50	1	3,22E+35	4,78E+35	5,20E+35	5,02E+35	2
Inner	2mm	50	2	3,41E+35	5,15E+35	5,29E+35	4,94E+35	2
Inner	2mm	50	3	5,55E+35	4,37E+35	4,87E+35	5,26E+35	2
Inner	2mm	50	4	3,28E+35	4,82E+35	5,20E+35	5,02E+35	2
Inner	2mm	50	5	3,29E+35	4,82E+35	5,20E+35	5,01E+35	2
Inner	3mm	50	1	3,30E+35	5,22E+35	5,47E+35	4,92E+35	2
Inner	3mm	50	2	3,57E+35	5,02E+35	5,14E+35	4,67E+35	2
Inner	3mm	50	3	3,57E+35	5,02E+35	5,14E+35	4,67E+35	2
Inner	3mm	50	4	3,60E+35	5,21E+35	5,18E+35	5,02E+35	2
Inner	3mm	50	5	4,76E+35	4,24E+35	5,15E+35	5,25E+35	2
Inner	4mm	50	1	4,17E+35	5,08E+35	4,97E+35	5,07E+35	2
Inner	4mm	50	2	3,26E+35	4,77E+35	4,93E+35	4,87E+35	2
Inner	4mm	50	3	3,48E+35	5,14E+35	5,39E+35	4,95E+35	2
Inner	4mm	50	4	6,07E+35	4,63E+35	4,78E+35	5,08E+35	2
Inner	4mm	50	5	4,17E+35	5,08E+35	4,97E+35	5,07E+35	2
Inner	5mm	50	1	4,45E+35	4,93E+35	5,17E+35	5,01E+35	2
Inner	5mm	50	2	4,33E+35	5,21E+35	4,96E+35	5,00E+35	2
Inner	5mm	50	3	5,03E+35	5,13E+35	4,88E+35	4,95E+35	2
Inner	5mm	50	4	2,91E+35	5,05E+35	4,61E+35	4,43E+35	2
Inner	5mm	50	5	2,91E+35	4,75E+35	4,61E+35	4,43E+35	2
Inner	1mm	75	1	4,06E+35	5,07E+35	5,07E+35	4,95E+35	2
Inner	1mm	75	2	3,38E+35	4,92E+35	5,23E+35	5,05E+35	2
Inner	1mm	75	3	4,80E+35	5,23E+35	4,73E+35	4,41E+35	2
Inner	1mm	75	4	5,95E+35	5,29E+35	5,01E+35	5,15E+35	2
Inner	1mm	75	5	3,38E+35	4,92E+35	5,23E+35	5,05E+35	2
Inner	2mm	75	1	5,48E+35	4,40E+35	5,26E+35	5,18E+35	2
Inner	2mm	75	2	3,27E+35	4,97E+35	5,11E+35	4,68E+35	2
Inner	2mm	75	3	4,30E+35	4,96E+35	5,31E+35	4,99E+35	2
Inner	2mm	75	4	3,55E+35	4,99E+35	5,15E+35	5,04E+35	2
Inner	2mm	75	5	5,48E+35	4,40E+35	5,10E+35	5,18E+35	2
Inner	3mm	75	1	4,38E+35	5,19E+35	4,69E+35	4,50E+35	2
Inner	3mm	75	2	3,55E+35	5,22E+35	5,01E+35	4,95E+35	2
Inner	3mm	75	3	3,55E+35	5,25E+35	5,26E+35	5,21E+35	2
Inner	3mm	75	4	2,95E+35	5,68E+35	5,09E+35	4,73E+35	2
Inner	3mm	75	5	3,55E+35	5,22E+35	5,01E+35	4,95E+35	2
Inner	4mm	75	1	3,77E+35	5,03E+35	5,23E+35	5,04E+35	2
Inner	4mm	75	2	2,91E+35	5,49E+35	5,04E+35	4,54E+35	2
Inner	4mm	75	3	3,23E+35	5,40E+35	5,08E+35	5,13E+35	2
Inner	4mm	75	4	6,18E+35	4,85E+35	5,02E+35	4,94E+35	2
Inner	4mm	75	5	3,23E+35	5,40E+35	5,08E+35	5,12E+35	2

Inner	5mm	75	1	5,98E+35	5,12E+35	4,95E+35	5,07E+35	2
Inner	5mm	75	2	3,97E+35	4,91E+35	4,98E+35	5,15E+35	2
Inner	5mm	75	3	5,41E+35	5,34E+35	4,97E+35	5,08E+35	2
Inner	5mm	75	4	5,21E+35	5,26E+35	4,88E+35	5,01E+35	2
Inner	5mm	75	5	3,97E+35	4,91E+35	4,98E+35	5,15E+35	2
Inner	1mm	100	1	4,38E+35	5,00E+35	4,89E+35	4,88E+35	2
Inner	1mm	100	2	3,27E+35	4,59E+35	5,34E+35	4,88E+35	2
Inner	1mm	100	3	5,90E+35	5,09E+35	4,99E+35	4,98E+35	2
Inner	1mm	100	4	3,59E+35	4,81E+35	4,96E+35	4,82E+35	2
Inner	1mm	100	5	3,27E+35	4,59E+35	5,34E+35	4,88E+35	2
Inner	2mm	100	1	5,15E+35	5,46E+35	5,37E+35	5,14E+35	2
Inner	2mm	100	2	5,45E+35	4,95E+35	5,49E+35	4,83E+35	2
Inner	2mm	100	3	3,39E+35	5,06E+35	5,44E+35	5,23E+35	2
Inner	2mm	100	4	3,75E+35	5,03E+35	5,46E+35	5,02E+35	2
Inner	2mm	100	5	3,65E+35	4,95E+35	5,49E+35	4,83E+35	2
Inner	3mm	100	1	3,14E+35	5,16E+35	5,25E+35	4,96E+35	2
Inner	3mm	100	2	5,58E+35	5,15E+35	4,63E+35	4,69E+35	2
Inner	3mm	100	3	4,82E+35	5,01E+35	4,72E+35	4,57E+35	2
Inner	3mm	100	4	3,02E+35	5,17E+35	5,27E+35	4,94E+35	2
Inner	3mm	100	5	3,04E+35	5,17E+35	5,27E+35	4,94E+35	2
Inner	4mm	100	1	3,57E+35	5,18E+35	5,30E+35	5,21E+35	2
Inner	4mm	100	2	4,06E+35	4,74E+35	4,99E+35	5,12E+35	2
Inner	4mm	100	3	3,90E+35	5,03E+35	5,22E+35	5,12E+35	2
Inner	4mm	100	4	3,91E+35	5,22E+35	5,36E+35	5,24E+35	2
Inner	4mm	100	5	4,06E+35	4,74E+35	4,99E+35	5,12E+35	2
Inner	5mm	100	1	4,18E+35	4,93E+35	4,99E+35	4,98E+35	2
Inner	5mm	100	2	5,99E+35	5,05E+35	4,98E+35	4,92E+35	2
Inner	5mm	100	3	4,34E+35	5,04E+35	4,72E+35	4,86E+35	2
Inner	5mm	100	4	4,35E+35	5,04E+35	4,72E+35	4,86E+35	2
Inner	5mm	100	5	4,16E+35	4,81E+35	4,86E+35	4,80E+35	2
outter	1mm	0	1	3,27E+35	3,21E+35	8,48E+33	4,24E+33	3
outter	1mm	0	2	3,94E+35	3,06E+35	1,11E+34	4,71E+33	3
outter	1mm	0	3	3,85E+35	3,19E+35	8,63E+33	4,50E+33	3
outter	1mm	0	4	3,24E+35	3,15E+35	8,47E+33	4,25E+33	3
outter	1mm	0	5	3,34E+35	3,14E+35	8,50E+33	4,23E+33	3
outter	2mm	0	1	3,73E+35	3,58E+35	8,86E+33	5,17E+33	3
outter	2mm	0	2	3,74E+35	3,58E+35	8,87E+33	5,16E+33	3
outter	2mm	0	3	5,12E+35	3,12E+35	7,71E+33	6,21E+33	3
outter	2mm	0	4	5,15E+35	3,13E+35	7,16E+33	5,97E+33	3
outter	2mm	0	5	3,97E+35	3,72E+35	8,05E+33	5,21E+33	3
outter	3mm	0	1	4,23E+35	2,33E+35	6,13E+33	5,59E+33	3

outter	3mm	0	2	3,70E+35	2,09E+35	6,30E+33	2,41E+33	3
outter	3mm	0	3	3,64E+35	3,22E+35	8,21E+33	4,93E+33	3
outter	3mm	0	4	2,95E+35	2,15E+35	6,45E+33	2,36E+33	3
outter	3mm	0	5	4,23E+35	2,33E+35	6,13E+33	5,59E+33	3
outter	4mm	0	1	3,87E+35	3,16E+35	1,02E+34	5,01E+33	3
outter	4mm	0	2	3,39E+35	3,32E+35	8,55E+33	4,90E+33	3
outter	4mm	0	3	3,40E+35	3,07E+35	9,74E+33	4,87E+33	3
outter	4mm	0	4	3,13E+35	2,27E+35	6,14E+33	2,43E+33	3
outter	4mm	0	5	3,13E+35	2,27E+35	6,14E+33	2,43E+33	3
outter	5mm	0	1	3,49E+35	3,52E+35	1,02E+34	4,88E+33	3
outter	5mm	0	2	3,46E+35	3,55E+35	1,01E+34	4,94E+33	3
outter	5mm	0	3	3,37E+35	3,16E+35	1,12E+34	4,71E+33	3
outter	5mm	0	4	3,39E+35	3,25E+35	9,23E+33	4,67E+33	3
outter	5mm	0	5	3,38E+35	3,26E+35	9,22E+33	4,68E+33	3
outter	1mm	25	1	3,89E+35	5,07E+35	5,08E+35	4,93E+35	3
outter	1mm	25	2	3,81E+35	5,05E+35	5,07E+35	4,94E+35	3
outter	1mm	25	3	4,28E+35	4,86E+35	5,07E+35	5,15E+35	3
outter	1mm	25	4	3,53E+35	5,11E+35	5,27E+35	4,78E+35	3
outter	1mm	25	5	3,52E+35	5,11E+35	5,27E+35	4,78E+35	3
outter	2mm	25	1	5,19E+35	5,22E+35	5,18E+35	5,28E+35	3
outter	2mm	25	2	5,63E+35	5,24E+35	5,25E+35	5,18E+35	3
outter	2mm	25	3	6,38E+35	5,30E+35	5,28E+35	4,96E+35	3
outter	2mm	25	4	5,16E+35	4,35E+35	4,57E+35	4,39E+35	3
outter	2mm	25	5	5,16E+35	4,35E+35	4,57E+35	4,39E+35	3
outter	3mm	25	1	4,25E+35	5,27E+35	5,07E+35	5,12E+35	3
outter	3mm	25	2	4,21E+35	5,27E+35	5,07E+35	5,12E+35	3
outter	3mm	25	3	4,31E+35	4,97E+35	4,97E+35	4,98E+35	3
outter	3mm	25	4	3,93E+35	4,75E+35	5,14E+35	4,79E+35	3
outter	3mm	25	5	3,81E+35	4,77E+35	5,14E+35	4,76E+35	3
outter	4mm	25	1	3,75E+35	4,91E+35	5,09E+35	5,05E+35	3
outter	4mm	25	2	3,80E+35	4,92E+35	5,09E+35	5,05E+35	3
outter	4mm	25	3	4,26E+35	5,05E+35	5,12E+35	5,02E+35	3
outter	4mm	25	4	3,67E+35	4,27E+35	4,22E+35	4,09E+35	3
outter	4mm	25	5	3,67E+35	4,27E+35	4,21E+35	4,09E+35	3
outter	5mm	25	1	4,70E+35	5,10E+35	5,03E+35	4,93E+35	3
outter	5mm	25	2	4,69E+35	5,09E+35	5,03E+35	4,93E+35	3
outter	5mm	25	3	4,69E+35	5,09E+35	5,03E+35	4,93E+35	3
outter	5mm	25	4	3,68E+35	4,19E+35	4,33E+35	4,44E+35	3
outter	5mm	25	5	3,69E+35	4,19E+35	4,33E+35	4,44E+35	3
outter	1mm	50	1	4,02E+35	5,34E+35	5,24E+35	5,25E+35	3
outter	1mm	50	2	3,78E+35	5,33E+35	5,29E+35	5,21E+35	3

outter	1mm	50	3	4,71E+35	4,86E+35	5,26E+35	5,18E+35	3
outter	1mm	50	4	2,93E+35	4,72E+35	4,66E+35	4,45E+35	3
outter	1mm	50	5	2,93E+35	4,72E+35	4,66E+35	4,45E+35	3
outter	2mm	50	1	6,25E+35	5,41E+35	5,34E+35	5,10E+35	3
outter	2mm	50	2	6,24E+35	5,41E+35	5,35E+35	5,10E+35	3
outter	2mm	50	3	3,72E+35	5,22E+35	5,31E+35	5,05E+35	3
outter	2mm	50	4	2,80E+35	4,09E+35	4,29E+35	4,22E+35	3
outter	2mm	50	5	3,10E+35	4,07E+35	4,28E+35	4,19E+35	3
outter	3mm	50	1	3,68E+35	5,39E+35	5,16E+35	5,27E+35	3
outter	3mm	50	2	4,19E+35	4,38E+35	4,14E+35	4,19E+35	3
outter	3mm	50	3	3,73E+35	5,39E+35	5,16E+35	5,27E+35	3
outter	3mm	50	4	4,46E+35	4,82E+35	5,04E+35	5,01E+35	3
outter	3mm	50	5	4,46E+35	4,82E+35	5,04E+35	5,01E+35	3
outter	4mm	50	1	4,26E+35	5,06E+35	5,04E+35	5,00E+35	3
outter	4mm	50	2	4,22E+35	5,05E+35	5,03E+35	5,01E+35	3
outter	4mm	50	3	4,28E+35	5,01E+35	5,11E+35	4,96E+35	3
outter	4mm	50	4	4,69E+35	5,12E+35	5,08E+35	5,07E+35	3
outter	4mm	50	5	4,64E+35	5,12E+35	5,06E+35	5,10E+35	3
outter	5mm	50	1	6,01E+35	5,25E+35	4,94E+35	5,06E+35	3
outter	5mm	50	2	5,71E+35	5,28E+35	5,01E+35	5,01E+35	3
outter	5mm	50	3	4,22E+35	5,02E+35	5,15E+35	5,06E+35	3
outter	5mm	50	4	3,93E+35	5,08E+35	5,04E+35	4,77E+35	3
outter	5mm	50	5	3,94E+35	5,09E+35	5,04E+35	4,77E+35	3
outter	1mm	75	1	4,06E+35	5,27E+35	5,31E+35	5,21E+35	3
outter	1mm	75	2	4,04E+35	5,26E+35	5,31E+35	5,22E+35	3
outter	1mm	75	3	4,09E+35	5,28E+35	5,31E+35	5,21E+35	3
outter	1mm	75	4	3,60E+35	5,00E+35	5,48E+35	5,24E+35	3
outter	1mm	75	5	3,60E+35	5,00E+35	5,48E+35	5,24E+35	3
outter	2mm	75	1	5,87E+35	5,34E+35	5,27E+35	5,14E+35	3
outter	2mm	75	2	5,91E+35	5,33E+35	5,26E+35	5,17E+35	3
outter	2mm	75	3	3,62E+35	5,28E+35	5,15E+35	4,95E+35	3
outter	2mm	75	4	4,36E+35	5,13E+35	5,18E+35	5,02E+35	3
outter	2mm	75	5	4,28E+35	5,14E+35	5,19E+35	5,02E+35	3
outter	3mm	75	1	4,03E+35	5,28E+35	5,10E+35	5,17E+35	3
outter	3mm	75	2	4,07E+35	5,29E+35	5,09E+35	5,17E+35	3
outter	3mm	75	3	4,61E+35	5,15E+35	5,18E+35	5,13E+35	3
outter	3mm	75	4	6,33E+35	5,41E+35	5,15E+35	5,14E+35	3
outter	3mm	75	5	6,27E+35	5,39E+35	5,15E+35	5,17E+35	3
outter	4mm	75	1	4,08E+35	4,92E+35	4,93E+35	4,79E+35	3
outter	4mm	75	2	4,10E+35	4,93E+35	4,91E+35	4,77E+35	3
outter	4mm	75	3	5,70E+35	5,47E+35	5,04E+35	4,90E+35	3

outter	4mm	75	4	4,09E+35	4,94E+35	4,97E+35	4,79E+35	3
outter	4mm	75	5	4,08E+35	4,94E+35	4,97E+35	4,79E+35	3
outter	5mm	75	1	4,18E+35	5,29E+35	5,04E+35	4,97E+35	3
outter	5mm	75	2	4,21E+35	5,30E+35	5,04E+35	4,96E+35	3
outter	5mm	75	3	4,08E+35	5,11E+35	4,96E+35	4,91E+35	3
outter	5mm	75	4	3,80E+35	5,16E+35	5,05E+35	4,99E+35	3
outter	5mm	75	5	3,86E+35	5,17E+35	5,06E+35	4,97E+35	3
outter	1mm	100	1	4,24E+35	5,11E+35	5,08E+35	5,06E+35	3
outter	1mm	100	2	4,24E+35	5,11E+35	5,08E+35	5,06E+35	3
outter	1mm	100	3	4,63E+35	5,11E+35	5,00E+35	5,35E+35	3
outter	1mm	100	4	4,27E+35	5,21E+35	5,23E+35	5,43E+35	3
outter	1mm	100	5	4,14E+35	5,23E+35	5,24E+35	5,42E+35	3
outter	2mm	100	1	3,30E+35	5,26E+35	5,37E+35	5,07E+35	3
outter	2mm	100	2	3,09E+35	5,20E+35	5,38E+35	5,06E+35	3
outter	2mm	100	3	3,68E+35	4,77E+35	5,25E+35	4,98E+35	3
outter	2mm	100	4	3,78E+35	4,80E+35	5,27E+35	4,94E+35	3
outter	2mm	100	5	3,71E+35	4,79E+35	5,26E+35	4,97E+35	3
outter	3mm	100	1	6,66E+35	5,26E+35	5,26E+35	5,02E+35	3
outter	3mm	100	2	6,63E+35	5,25E+35	5,26E+35	5,02E+35	3
outter	3mm	100	3	4,24E+35	4,59E+35	4,19E+35	4,22E+35	3
outter	3mm	100	4	4,51E+35	5,28E+35	5,10E+35	5,17E+35	3
outter	3mm	100	5	4,55E+35	5,27E+35	5,09E+35	5,18E+35	3
outter	4mm	100	1	4,26E+35	5,00E+35	5,08E+35	5,02E+35	3
outter	4mm	100	2	4,37E+35	4,97E+35	5,06E+35	5,03E+35	3
outter	4mm	100	3	4,30E+35	4,99E+35	5,07E+35	5,03E+35	3
outter	4mm	100	4	3,95E+35	5,17E+35	4,96E+35	4,98E+35	3
outter	4mm	100	5	3,88E+35	5,17E+35	4,97E+35	4,99E+35	3
outter	5mm	100	1	3,28E+35	5,23E+35	5,12E+35	5,19E+35	3
outter	5mm	100	2	3,48E+35	5,28E+35	5,11E+35	5,20E+35	3
outter	5mm	100	3	4,44E+35	4,93E+35	5,08E+35	4,95E+35	3
outter	5mm	100	4	4,26E+35	4,79E+35	5,12E+35	5,01E+35	3
outter	5mm	100	5	4,26E+35	4,80E+35	5,13E+35	5,01E+35	3
ball	1ball	0	1	3,81E+35	3,39E+35	8,88E+33	4,88E+33	4
ball	1ball	0	2	4,50E+35	2,20E+35	5,65E+33	2,88E+33	4
ball	1ball	0	3	3,35E+35	2,38E+35	6,42E+33	2,67E+33	4
ball	1ball	0	4	3,72E+35	2,33E+35	5,73E+33	2,84E+33	4
ball	1ball	0	5	4,51E+35	2,20E+35	5,65E+33	2,88E+33	4
ball	2ball	0	1	3,23E+35	2,99E+35	9,79E+33	4,78E+33	4
ball	2ball	0	2	3,90E+35	2,16E+35	6,81E+33	3,44E+33	4
ball	2ball	0	3	3,37E+35	2,33E+35	6,17E+33	2,58E+33	4
ball	2ball	0	4	4,42E+35	3,22E+35	8,39E+33	5,95E+33	4

ball	2ball	0	5	4,42E+35	3,22E+35	8,39E+33	5,95E+33	4
ball	3ball	0	1	5,26E+35	3,07E+35	9,84E+33	6,16E+33	4
ball	3ball	0	2	3,28E+35	3,20E+35	9,21E+33	4,97E+33	4
ball	3ball	0	3	2,79E+35	3,53E+35	9,99E+33	5,56E+33	4
ball	3ball	0	4	3,28E+35	3,20E+35	9,21E+33	4,97E+33	4
ball	3ball	0	5	5,17E+35	3,08E+35	1,04E+34	6,22E+33	4
ball	1ball	25	1	3,91E+35	5,31E+35	5,37E+35	5,20E+35	4
ball	1ball	25	2	2,65E+35	4,39E+35	4,40E+35	4,24E+35	4
ball	1ball	25	3	3,08E+35	4,35E+35	4,36E+35	4,27E+35	4
ball	1ball	25	4	3,04E+35	4,71E+35	4,21E+35	4,21E+35	4
ball	1ball	25	5	3,91E+35	5,31E+35	5,37E+35	5,20E+35	4
ball	2ball	25	1	3,40E+35	5,11E+35	5,07E+35	4,94E+35	4
ball	2ball	25	2	2,83E+35	5,05E+35	4,96E+35	4,72E+35	4
ball	2ball	25	3	3,49E+35	4,79E+35	4,92E+35	4,78E+35	4
ball	2ball	25	4	3,43E+35	5,05E+35	5,03E+35	4,96E+35	4
ball	2ball	25	5	3,40E+35	5,10E+35	5,08E+35	4,94E+35	4
ball	3ball	25	1	5,52E+35	4,59E+35	4,91E+35	4,76E+35	4
ball	3ball	25	2	2,40E+35	4,41E+35	4,80E+35	4,65E+35	4
ball	3ball	25	3	5,60E+35	5,18E+35	4,94E+35	5,03E+35	4
ball	3ball	25	4	2,40E+35	4,41E+35	4,80E+35	4,65E+35	4
ball	3ball	25	5	5,56E+35	5,37E+35	5,17E+35	4,97E+35	4
ball	1ball	50	1	3,78E+35	4,92E+35	5,04E+35	5,01E+35	4
ball	1ball	50	2	3,49E+35	5,40E+35	5,22E+35	5,22E+35	4
ball	1ball	50	3	2,90E+35	5,70E+35	4,94E+35	4,97E+35	4
ball	1ball	50	4	4,17E+35	5,17E+35	4,94E+35	5,15E+35	4
ball	1ball	50	5	3,78E+35	4,92E+35	5,04E+35	5,01E+35	4
ball	2ball	50	1	4,56E+35	4,96E+35	4,64E+35	4,73E+35	4
ball	2ball	50	2	5,79E+35	4,68E+35	4,64E+35	4,92E+35	4
ball	2ball	50	3	4,83E+35	4,64E+35	4,86E+35	4,82E+35	4
ball	2ball	50	4	3,09E+35	5,12E+35	4,82E+35	4,95E+35	4
ball	2ball	50	5	4,13E+35	5,03E+35	4,63E+35	4,73E+35	4
ball	3ball	50	1	5,53E+35	4,59E+35	4,90E+35	4,65E+35	4
ball	3ball	50	2	3,36E+35	4,99E+35	5,03E+35	4,95E+35	4
ball	3ball	50	3	4,40E+35	4,64E+35	5,09E+35	5,05E+35	4
ball	3ball	50	4	6,03E+35	4,62E+35	4,89E+35	5,14E+35	4
ball	3ball	50	5	5,47E+35	4,61E+35	4,90E+35	4,75E+35	4
ball	1ball	75	1	6,10E+35	4,76E+35	4,63E+35	5,26E+35	4
ball	1ball	75	2	4,29E+35	4,69E+35	4,90E+35	4,89E+35	4
ball	1ball	75	3	4,03E+35	4,92E+35	5,05E+35	5,10E+35	4
ball	1ball	75	4	4,35E+35	4,98E+35	5,03E+35	4,95E+35	4
ball	1ball	75	5	6,10E+35	4,76E+35	4,63E+35	5,26E+35	4

ball	2ball	75	1	5,27E+35	4,48E+35	4,75E+35	4,93E+35	4
ball	2ball	75	2	3,10E+35	5,16E+35	5,35E+35	4,90E+35	4
ball	2ball	75	3	3,24E+35	4,73E+35	4,84E+35	5,00E+35	4
ball	2ball	75	4	3,39E+35	5,29E+35	5,41E+35	5,04E+35	4
ball	2ball	75	5	5,27E+35	4,48E+35	4,75E+35	4,93E+35	4
ball	3ball	75	1	3,63E+35	4,80E+35	4,94E+35	4,96E+35	4
ball	3ball	75	2	2,94E+35	5,29E+35	4,95E+35	5,06E+35	4
ball	3ball	75	3	6,06E+35	5,03E+35	4,93E+35	4,95E+35	4
ball	3ball	75	4	3,25E+35	5,05E+35	5,15E+35	4,83E+35	4
ball	3ball	75	5	3,25E+35	5,05E+35	4,93E+35	4,83E+35	4
ball	1ball	100	1	4,13E+35	5,06E+35	4,99E+35	4,83E+35	4
ball	1ball	100	2	6,16E+35	5,14E+35	5,05E+35	4,77E+35	4
ball	1ball	100	3	6,50E+35	5,27E+35	5,55E+35	4,80E+35	4
ball	1ball	100	4	6,30E+35	5,14E+35	5,18E+35	4,93E+35	4
ball	1ball	100	5	4,12E+35	5,06E+35	4,99E+35	4,83E+35	4
ball	2ball	100	1	5,78E+35	4,60E+35	5,17E+35	5,15E+35	4
ball	2ball	100	2	3,85E+35	5,10E+35	4,75E+35	4,77E+35	4
ball	2ball	100	3	6,02E+35	4,69E+35	4,90E+35	4,67E+35	4
ball	2ball	100	4	3,53E+35	4,73E+35	5,20E+35	5,07E+35	4
ball	2ball	100	5	3,85E+35	5,10E+35	4,75E+35	4,77E+35	4
ball	3ball	100	1	3,43E+35	5,00E+35	5,06E+35	4,87E+35	4
ball	3ball	100	2	3,21E+35	4,80E+35	5,01E+35	4,81E+35	4
ball	3ball	100	3	3,34E+35	4,66E+35	4,93E+35	4,87E+35	4
ball	3ball	100	4	3,30E+35	4,96E+35	5,09E+35	4,89E+35	4
ball	3ball	100	5	3,30E+35	4,96E+35	5,09E+35	4,88E+35	4

VARIASI KASUS DATA FASA T

KONDISI	KASUS	PEMBEBANAN	PERCOBAAN	INPUT				OUTPUT
				CE1	CE2	CE4	CE5	
normal		0	1	4,40E+35	2,99E+35	1,44E+34	6,67E+33	1
normal		0	2	4,40E+35	2,99E+35	1,44E+34	6,67E+33	1
normal		0	3	4,40E+35	2,99E+35	1,44E+34	6,67E+33	1
normal		0	4	4,40E+35	2,99E+35	1,44E+34	6,67E+33	1
normal		0	5	4,40E+35	2,99E+35	1,44E+34	6,67E+33	1
normal		25	1	7,02E+35	5,09E+35	4,83E+35	4,88E+35	1
normal		25	2	7,02E+35	5,09E+35	4,83E+35	4,88E+35	1
normal		25	3	7,02E+35	5,09E+35	4,83E+35	4,88E+35	1
normal		25	4	7,02E+35	5,09E+35	4,83E+35	4,88E+35	1
normal		25	5	7,02E+35	5,09E+35	4,83E+35	4,88E+35	1
normal		50	1	5,02E+35	5,04E+35	5,05E+35	4,96E+35	1
normal		50	2	5,02E+35	5,04E+35	5,05E+35	4,96E+35	1
normal		50	3	5,02E+35	5,04E+35	5,05E+35	4,96E+35	1
normal		50	4	5,02E+35	5,04E+35	5,05E+35	4,96E+35	1
normal		50	5	5,02E+35	5,04E+35	5,05E+35	4,96E+35	1
normal		75	1	8,38E+35	5,08E+35	4,98E+35	4,72E+35	1
normal		75	2	8,38E+35	5,08E+35	4,98E+35	4,72E+35	1
normal		75	3	8,38E+35	5,08E+35	4,98E+35	4,72E+35	1
normal		75	4	8,38E+35	5,08E+35	4,98E+35	4,72E+35	1
normal		75	5	8,38E+35	5,08E+35	4,98E+35	4,72E+35	1
normal		100	1	4,06E+35	4,05E+35	4,16E+35	4,20E+35	1
normal		100	2	4,06E+35	4,05E+35	4,16E+35	4,20E+35	1
normal		100	3	4,06E+35	4,05E+35	4,16E+35	4,20E+35	1
normal		100	4	4,06E+35	4,05E+35	4,16E+35	4,20E+35	1
normal		100	5	4,06E+35	4,05E+35	4,16E+35	4,20E+35	1
Inner	1mm	0	1	4,79E+35	2,76E+35	8,83E+33	5,59E+33	2
Inner	1mm	0	2	4,01E+35	2,88E+35	7,68E+33	5,20E+33	2
Inner	1mm	0	3	4,61E+35	2,69E+35	8,27E+33	5,58E+33	2
Inner	1mm	0	4	4,79E+35	2,76E+35	8,83E+33	5,59E+33	2
Inner	1mm	0	5	4,41E+35	2,74E+35	6,72E+33	4,74E+33	2
Inner	2mm	0	1	2,67E+35	2,45E+35	5,67E+33	2,72E+33	2
Inner	2mm	0	2	4,39E+35	2,31E+35	8,36E+33	5,20E+33	2
Inner	2mm	0	3	4,66E+35	2,66E+35	8,62E+33	5,16E+33	2
Inner	2mm	0	4	3,71E+35	2,22E+35	8,55E+33	5,15E+33	2
Inner	2mm	0	5	3,71E+35	2,22E+35	8,55E+33	5,15E+33	2
Inner	3mm	0	1	3,07E+35	2,90E+35	7,81E+33	2,87E+33	2
Inner	3mm	0	2	4,40E+35	2,74E+35	8,06E+33	5,41E+33	2

Inner	3mm	0	3	2,86E+35	2,60E+35	8,25E+33	4,51E+33	2
Inner	3mm	0	4	2,94E+35	2,71E+35	8,49E+33	4,44E+33	2
Inner	3mm	0	5	4,40E+35	2,74E+35	8,06E+33	5,41E+33	2
Inner	4mm	0	1	3,01E+35	2,24E+35	8,16E+33	4,88E+33	2
Inner	4mm	0	2	2,83E+35	2,50E+35	8,30E+33	3,79E+33	2
Inner	4mm	0	3	4,31E+35	2,32E+35	7,54E+33	5,42E+33	2
Inner	4mm	0	4	4,37E+35	2,59E+35	7,71E+33	5,67E+33	2
Inner	4mm	0	5	3,00E+35	2,24E+35	8,16E+33	4,87E+33	2
Inner	5mm	0	1	4,47E+35	2,52E+35	6,83E+33	5,03E+33	2
Inner	5mm	0	2	4,68E+35	2,34E+35	5,89E+33	4,88E+33	2
Inner	5mm	0	3	4,44E+35	2,43E+35	6,11E+33	4,42E+33	2
Inner	5mm	0	4	3,77E+35	2,66E+35	6,34E+33	4,58E+33	2
Inner	5mm	0	5	4,47E+35	2,52E+35	6,83E+33	5,03E+33	2
Inner	1mm	25	1	4,08E+35	4,08E+35	4,64E+35	4,74E+35	2
Inner	1mm	25	2	5,22E+35	4,64E+35	4,74E+35	4,75E+35	2
Inner	1mm	25	3	2,98E+35	4,52E+35	4,85E+35	4,73E+35	2
Inner	1mm	25	4	5,47E+35	5,01E+35	4,50E+35	4,57E+35	2
Inner	1mm	25	5	5,22E+35	4,64E+35	4,73E+35	4,75E+35	2
Inner	2mm	25	1	4,18E+35	4,69E+35	3,97E+35	3,87E+35	2
Inner	2mm	25	2	4,53E+35	4,30E+35	4,74E+35	4,19E+35	2
Inner	2mm	25	3	5,03E+35	3,96E+35	4,31E+35	4,68E+35	2
Inner	2mm	25	4	4,82E+35	3,91E+35	4,15E+35	4,35E+35	2
Inner	2mm	25	5	4,53E+35	4,30E+35	4,74E+35	4,19E+35	2
Inner	3mm	25	1	3,68E+35	4,91E+35	4,70E+35	4,58E+35	2
Inner	3mm	25	2	2,78E+35	4,95E+35	4,10E+35	4,03E+35	2
Inner	3mm	25	3	2,78E+35	4,58E+35	4,52E+35	4,13E+35	2
Inner	3mm	25	4	5,12E+35	3,97E+35	4,53E+35	4,33E+35	2
Inner	3mm	25	5	2,78E+35	4,58E+35	4,52E+35	4,13E+35	2
Inner	4mm	25	1	3,22E+35	4,84E+35	4,18E+35	4,53E+35	2
Inner	4mm	25	2	5,01E+35	4,10E+35	4,36E+35	4,47E+35	2
Inner	4mm	25	3	4,66E+35	4,20E+35	4,46E+35	4,37E+35	2
Inner	4mm	25	4	4,80E+35	4,21E+35	4,24E+35	4,00E+35	2
Inner	4mm	25	5	5,01E+35	4,10E+35	4,36E+35	4,47E+35	2
Inner	5mm	25	1	3,75E+35	4,50E+35	4,61E+35	4,49E+35	2
Inner	5mm	25	2	3,32E+35	4,65E+35	4,49E+35	4,69E+35	2
Inner	5mm	25	3	3,53E+35	4,91E+35	4,51E+35	4,41E+35	2
Inner	5mm	25	4	5,26E+35	4,79E+35	4,61E+35	4,28E+35	2
Inner	5mm	25	5	5,26E+35	4,79E+35	4,61E+35	4,28E+35	2
Inner	1mm	50	1	4,43E+35	5,67E+35	4,85E+35	5,71E+35	2
Inner	1mm	50	2	5,57E+35	4,75E+35	4,46E+35	4,51E+35	2
Inner	1mm	50	3	3,68E+35	4,80E+35	4,26E+35	4,26E+35	2

Inner	1mm	50	4	4,69E+35	4,15E+35	4,59E+35	4,46E+35	2
Inner	1mm	50	5	4,43E+35	5,67E+35	4,85E+35	5,71E+35	2
Inner	2mm	50	1	3,52E+35	4,46E+35	4,00E+35	4,14E+35	2
Inner	2mm	50	2	4,66E+35	4,13E+35	4,21E+35	4,40E+35	2
Inner	2mm	50	3	3,52E+35	4,46E+35	4,00E+35	4,14E+35	2
Inner	2mm	50	4	5,24E+35	3,99E+35	4,61E+35	4,47E+35	2
Inner	2mm	50	5	6,36E+33	6,54E+33	6,41E+33	6,61E+33	2
Inner	3mm	50	1	4,40E+35	4,34E+35	3,89E+35	4,20E+35	2
Inner	3mm	50	2	4,71E+35	3,80E+35	4,44E+35	4,43E+35	2
Inner	3mm	50	3	4,71E+35	3,80E+35	4,44E+35	4,43E+35	2
Inner	3mm	50	4	4,98E+35	4,17E+35	4,38E+35	4,60E+35	2
Inner	3mm	50	5	5,18E+35	4,13E+35	4,44E+35	4,68E+35	2
Inner	4mm	50	1	2,64E+35	4,56E+35	4,45E+35	4,39E+35	2
Inner	4mm	50	2	4,95E+35	4,37E+35	4,23E+35	4,45E+35	2
Inner	4mm	50	3	4,95E+35	4,37E+35	4,23E+35	4,45E+35	2
Inner	4mm	50	4	3,09E+35	4,82E+35	4,22E+35	4,17E+35	2
Inner	4mm	50	5	5,04E+35	4,88E+35	4,03E+35	4,49E+35	2
Inner	5mm	50	1	3,85E+35	4,90E+35	4,50E+35	4,44E+35	2
Inner	5mm	50	2	5,36E+35	4,85E+35	4,47E+35	4,67E+35	2
Inner	5mm	50	3	5,36E+35	4,85E+35	4,47E+35	4,67E+35	2
Inner	5mm	50	4	5,01E+35	4,78E+35	4,58E+35	4,36E+35	2
Inner	5mm	50	5	5,60E+35	4,91E+35	4,63E+35	4,42E+35	2
Inner	1mm	75	1	4,33E+35	4,56E+35	4,37E+35	4,37E+35	2
Inner	1mm	75	2	5,36E+35	4,16E+35	4,46E+35	4,31E+35	2
Inner	1mm	75	3	2,69E+35	4,28E+35	4,81E+35	4,48E+35	2
Inner	1mm	75	4	2,65E+35	4,45E+35	4,39E+35	4,76E+35	2
Inner	1mm	75	5	5,36E+35	4,16E+35	4,46E+35	4,31E+35	2
Inner	2mm	75	1	3,89E+35	4,56E+35	3,84E+35	4,11E+35	2
Inner	2mm	75	2	4,70E+35	4,08E+35	4,49E+35	4,32E+35	2
Inner	2mm	75	3	5,42E+35	3,94E+35	4,47E+35	4,46E+35	2
Inner	2mm	75	4	5,42E+35	3,94E+35	4,47E+35	4,46E+35	2
Inner	2mm	75	5	3,58E+35	4,57E+35	4,19E+35	4,22E+35	2
Inner	3mm	75	1	4,65E+35	4,10E+35	4,45E+35	4,51E+35	2
Inner	3mm	75	2	5,10E+35	4,23E+35	4,25E+35	4,19E+35	2
Inner	3mm	75	3	4,73E+35	4,04E+35	4,39E+35	4,54E+35	2
Inner	3mm	75	4	4,06E+35	3,86E+35	4,66E+35	4,32E+35	2
Inner	3mm	75	5	4,65E+35	4,10E+35	4,43E+35	4,50E+35	2
Inner	4mm	75	1	2,98E+35	4,73E+35	4,38E+35	4,47E+35	2
Inner	4mm	75	2	4,22E+35	3,87E+35	4,33E+35	4,58E+35	2
Inner	4mm	75	3	5,06E+35	4,05E+35	4,11E+35	4,82E+35	2
Inner	4mm	75	4	3,81E+35	4,66E+35	4,59E+35	4,26E+35	2

Inner	4mm	75	5	4,22E+35	3,87E+35	4,33E+35	4,58E+35	2
Inner	5mm	75	1	5,17E+35	4,77E+35	4,46E+35	4,34E+35	2
Inner	5mm	75	2	5,65E+35	4,51E+35	4,59E+35	4,26E+35	2
Inner	5mm	75	3	4,74E+35	4,66E+35	4,56E+35	4,50E+35	2
Inner	5mm	75	4	5,45E+35	4,91E+35	4,33E+35	4,68E+35	2
Inner	5mm	75	5	5,17E+35	4,77E+35	4,46E+35	4,34E+35	2
Inner	1mm	100	1	2,89E+35	4,22E+35	4,58E+35	4,25E+35	2
Inner	1mm	100	2	5,02E+35	3,97E+35	4,12E+35	4,35E+35	2
Inner	1mm	100	3	3,08E+35	4,30E+35	4,41E+35	4,30E+35	2
Inner	1mm	100	4	4,96E+35	4,09E+35	4,29E+35	4,33E+35	2
Inner	1mm	100	5	4,95E+35	4,08E+35	4,29E+35	4,33E+35	2
Inner	2mm	100	1	3,09E+35	4,61E+35	4,78E+35	4,40E+35	2
Inner	2mm	100	2	3,09E+35	4,61E+35	4,78E+35	4,41E+35	2
Inner	2mm	100	3	4,81E+35	4,42E+35	4,28E+35	4,35E+35	2
Inner	2mm	100	4	5,80E+35	4,22E+35	4,59E+35	4,60E+35	2
Inner	2mm	100	5	5,13E+35	4,32E+35	4,43E+35	4,34E+35	2
Inner	3mm	100	1	4,69E+35	4,54E+35	3,68E+35	4,11E+35	2
Inner	3mm	100	2	2,76E+35	4,36E+35	4,33E+35	4,25E+35	2
Inner	3mm	100	3	2,71E+35	3,98E+35	4,29E+35	4,37E+35	2
Inner	3mm	100	4	4,35E+35	3,86E+35	4,35E+35	4,52E+35	2
Inner	3mm	100	5	4,35E+35	3,86E+35	4,35E+35	4,52E+35	2
Inner	4mm	100	1	3,87E+35	4,91E+35	4,20E+35	4,57E+35	2
Inner	4mm	100	2	5,23E+35	4,58E+35	4,63E+35	4,71E+35	2
Inner	4mm	100	3	5,16E+35	4,03E+35	4,40E+35	4,45E+35	2
Inner	4mm	100	4	5,34E+35	4,06E+35	4,42E+35	4,62E+35	2
Inner	4mm	100	5	5,23E+35	4,59E+35	4,63E+35	4,71E+35	2
Inner	5mm	100	1	3,66E+35	4,72E+35	4,28E+35	4,31E+35	2
Inner	5mm	100	2	3,71E+35	4,47E+35	4,23E+35	4,39E+35	2
Inner	5mm	100	3	5,30E+35	4,70E+35	4,25E+35	4,19E+35	2
Inner	5mm	100	4	5,42E+35	4,68E+35	4,27E+35	4,30E+35	2
Inner	5mm	100	5	5,42E+35	4,68E+35	4,27E+35	4,31E+35	2
outter	1mm	0	1	4,25E+35	2,65E+35	7,12E+33	5,11E+33	3
outter	1mm	0	2	4,54E+35	2,83E+35	6,98E+33	3,75E+33	3
outter	1mm	0	3	2,90E+35	2,68E+35	7,79E+33	2,88E+33	3
outter	1mm	0	4	3,50E+35	2,41E+35	6,93E+33	3,28E+33	3
outter	1mm	0	5	3,49E+35	2,41E+35	6,94E+33	3,28E+33	3
outter	2mm	0	1	4,55E+35	2,84E+35	1,10E+34	6,21E+33	3
outter	2mm	0	2	3,01E+35	2,44E+35	6,41E+33	2,40E+33	3
outter	2mm	0	3	2,97E+35	2,99E+35	1,19E+34	4,99E+33	3
outter	2mm	0	4	3,13E+35	2,84E+35	5,82E+33	2,35E+33	3
outter	2mm	0	5	3,01E+35	2,44E+35	6,41E+33	2,40E+33	3

outter	3mm	0	1	2,63E+35	2,33E+35	7,51E+33	5,50E+33	3
outter	3mm	0	2	4,37E+35	2,66E+35	9,07E+33	5,61E+33	3
outter	3mm	0	3	3,65E+35	2,19E+35	2,98E+33	2,88E+33	3
outter	3mm	0	4	4,39E+35	2,44E+35	8,39E+33	5,81E+33	3
outter	3mm	0	5	3,65E+35	2,19E+35	2,98E+33	2,88E+33	3
outter	4mm	0	1	3,06E+35	2,75E+35	9,44E+33	4,77E+33	3
outter	4mm	0	2	3,11E+35	2,28E+35	6,16E+33	2,42E+33	3
outter	4mm	0	3	4,35E+35	2,12E+35	5,78E+33	2,91E+33	3
outter	4mm	0	4	4,48E+35	2,52E+35	8,62E+33	5,68E+33	3
outter	4mm	0	5	4,48E+35	2,53E+35	8,60E+33	5,65E+33	3
outter	5mm	0	1	4,39E+35	2,67E+35	8,68E+33	4,73E+33	3
outter	5mm	0	2	2,92E+35	2,70E+35	8,86E+33	2,74E+33	3
outter	5mm	0	3	4,31E+35	2,50E+35	6,90E+33	4,42E+33	3
outter	5mm	0	4	4,31E+35	2,50E+35	6,90E+33	4,42E+33	3
outter	5mm	0	5	3,55E+35	2,18E+35	6,82E+33	3,18E+33	3
outter	1mm	25	1	5,79E+35	4,60E+35	4,56E+35	4,63E+35	3
outter	1mm	25	2	4,35E+35	4,60E+35	4,70E+35	4,39E+35	3
outter	1mm	25	3	2,88E+35	4,44E+35	4,61E+35	4,37E+35	3
outter	1mm	25	4	4,93E+35	4,21E+35	4,51E+35	4,63E+35	3
outter	1mm	25	5	4,93E+35	4,21E+35	4,51E+35	4,63E+35	3
outter	2mm	25	1	3,16E+35	5,03E+35	4,94E+35	4,50E+35	3
outter	2mm	25	2	2,75E+35	4,59E+35	4,27E+35	4,29E+35	3
outter	2mm	25	3	5,12E+35	4,17E+35	4,45E+35	4,29E+35	3
outter	2mm	25	4	4,95E+35	4,97E+35	4,63E+35	4,74E+35	3
outter	2mm	25	5	4,95E+35	4,97E+35	4,63E+35	4,74E+35	3
outter	3mm	25	1	5,50E+35	4,73E+35	4,43E+35	4,60E+35	3
outter	3mm	25	2	3,84E+35	4,02E+35	4,30E+35	4,11E+35	3
outter	3mm	25	3	3,43E+35	4,58E+35	4,19E+35	4,23E+35	3
outter	3mm	25	4	4,18E+35	4,32E+35	4,15E+35	4,03E+35	3
outter	3mm	25	5	5,50E+35	4,73E+35	4,43E+35	4,60E+35	3
outter	4mm	25	1	5,38E+35	4,81E+35	4,61E+35	4,54E+35	3
outter	4mm	25	2	3,75E+35	4,53E+35	4,32E+35	4,17E+35	3
outter	4mm	25	3	2,98E+35	4,32E+35	4,40E+35	4,19E+35	3
outter	4mm	25	4	5,46E+35	4,92E+35	4,47E+35	4,48E+35	3
outter	4mm	25	5	5,46E+35	4,92E+35	4,47E+35	4,48E+35	3
outter	5mm	25	1	4,91E+35	4,74E+35	4,46E+35	4,28E+35	3
outter	5mm	25	2	3,12E+35	4,33E+35	4,28E+35	4,61E+35	3
outter	5mm	25	3	3,10E+35	4,32E+35	4,28E+35	4,60E+35	3
outter	5mm	25	4	3,79E+35	4,58E+35	4,74E+35	4,49E+35	3
outter	5mm	25	5	3,79E+35	4,58E+35	4,73E+35	4,49E+35	3
outter	1mm	50	1	5,29E+35	4,55E+35	4,57E+35	4,54E+35	3

outter	1mm	50	2	4,92E+35	4,83E+35	4,46E+35	4,81E+35	3
outter	1mm	50	3	3,30E+35	5,18E+35	4,48E+35	4,69E+35	3
outter	1mm	50	4	4,38E+35	4,87E+35	4,46E+35	4,85E+35	3
outter	1mm	50	5	4,92E+35	4,83E+35	4,46E+35	4,81E+35	3
outter	2mm	50	1	3,87E+35	4,35E+35	4,56E+35	4,60E+35	3
outter	2mm	50	2	4,54E+35	4,58E+35	4,35E+35	4,48E+35	3
outter	2mm	50	3	4,53E+35	4,40E+35	4,27E+35	4,35E+35	3
outter	2mm	50	4	5,65E+35	4,70E+35	4,57E+35	4,57E+35	3
outter	2mm	50	5	5,65E+35	4,70E+35	4,57E+35	4,57E+35	3
outter	3mm	50	1	4,83E+35	4,80E+35	4,72E+35	4,17E+35	3
outter	3mm	50	2	4,92E+35	4,80E+35	4,69E+35	4,20E+35	3
outter	3mm	50	3	4,61E+35	4,38E+35	4,15E+35	4,17E+35	3
outter	3mm	50	4	3,58E+35	4,52E+35	4,36E+35	4,02E+35	3
outter	3mm	50	5	3,58E+35	4,52E+35	4,36E+35	4,02E+35	3
outter	4mm	50	1	5,38E+35	4,75E+35	4,62E+35	4,57E+35	3
outter	4mm	50	2	4,73E+35	4,53E+35	4,49E+35	4,40E+35	3
outter	4mm	50	3	3,51E+35	4,48E+35	4,18E+35	4,27E+35	3
outter	4mm	50	4	3,39E+35	4,50E+35	4,24E+35	4,42E+35	3
outter	4mm	50	5	4,73E+35	4,53E+35	4,49E+35	4,39E+35	3
outter	5mm	50	1	3,46E+35	4,44E+35	4,54E+35	4,83E+35	3
outter	5mm	50	2	4,37E+35	4,55E+35	4,22E+35	3,98E+35	3
outter	5mm	50	3	2,83E+35	4,23E+35	4,33E+35	4,23E+35	3
outter	5mm	50	4	4,46E+35	4,40E+35	4,26E+35	4,41E+35	3
outter	5mm	50	5	4,44E+35	4,40E+35	4,26E+35	4,40E+35	3
outter	1mm	75	1	5,74E+35	4,44E+35	4,83E+35	4,32E+35	3
outter	1mm	75	2	4,70E+35	4,92E+35	4,39E+35	4,94E+35	3
outter	1mm	75	3	4,04E+35	4,83E+35	4,55E+35	4,69E+35	3
outter	1mm	75	4	4,04E+35	4,83E+35	4,55E+35	4,69E+35	3
outter	1mm	75	5	2,94E+35	5,07E+35	4,46E+35	4,61E+35	3
outter	2mm	75	1	5,02E+35	4,81E+35	4,57E+35	4,59E+35	3
outter	2mm	75	2	3,28E+35	4,15E+35	4,11E+35	4,28E+35	3
outter	2mm	75	3	5,15E+35	4,58E+35	4,44E+35	4,62E+35	3
outter	2mm	75	4	5,15E+35	4,58E+35	4,44E+35	4,62E+35	3
outter	2mm	75	5	4,12E+35	4,25E+35	4,30E+35	4,17E+35	3
outter	3mm	75	1	4,94E+35	4,72E+35	4,82E+35	4,77E+35	3
outter	3mm	75	2	3,85E+35	4,27E+35	4,32E+35	3,98E+35	3
outter	3mm	75	3	4,61E+35	5,15E+35	5,18E+35	5,13E+35	3
outter	3mm	75	4	3,33E+35	4,83E+35	4,56E+35	4,43E+35	3
outter	3mm	75	5	3,33E+35	4,80E+35	4,54E+35	4,40E+35	3
outter	4mm	75	1	5,25E+35	4,51E+35	4,57E+35	4,17E+35	3
outter	4mm	75	2	4,11E+35	4,68E+35	4,34E+35	3,97E+35	3

outter	4mm	75	3	3,61E+35	4,54E+35	4,52E+35	4,26E+35	3
outter	4mm	75	4	2,99E+35	4,53E+35	4,35E+35	4,20E+35	3
outter	4mm	75	5	2,99E+35	4,53E+35	4,35E+35	4,20E+35	3
outter	5mm	75	1	5,28E+35	4,69E+35	4,38E+35	4,63E+35	3
outter	5mm	75	2	4,07E+35	4,22E+35	4,14E+35	4,15E+35	3
outter	5mm	75	3	3,90E+35	4,23E+35	4,26E+35	4,10E+35	3
outter	5mm	75	4	5,60E+35	4,50E+35	4,61E+35	4,50E+35	3
outter	5mm	75	5	5,60E+35	4,49E+35	4,61E+35	4,49E+35	3
outter	1mm	100	1	4,68E+14	5,79E+14	5,74E+14	5,74E+14	3
outter	1mm	100	2	5,67E+35	4,80E+35	4,56E+35	4,63E+35	3
outter	1mm	100	3	3,32E+35	4,48E+35	4,77E+35	4,66E+35	3
outter	1mm	100	4	3,44E+35	4,97E+35	4,94E+35	4,61E+35	3
outter	1mm	100	5	3,44E+35	4,97E+35	4,94E+35	4,61E+35	3
outter	2mm	100	1	4,45E+35	4,51E+35	4,46E+35	4,47E+35	3
outter	2mm	100	2	5,03E+35	4,26E+35	4,06E+35	4,01E+35	3
outter	2mm	100	3	5,42E+35	4,50E+35	4,47E+35	4,32E+35	3
outter	2mm	100	4	5,42E+35	4,50E+35	4,47E+35	4,32E+35	3
outter	2mm	100	5	3,62E+35	4,43E+35	4,12E+35	4,03E+35	3
outter	3mm	100	1	2,94E+35	5,01E+35	4,92E+35	4,46E+35	3
outter	3mm	100	2	3,57E+35	3,80E+35	4,49E+35	4,22E+35	3
outter	3mm	100	3	3,25E+35	4,38E+35	4,22E+35	4,29E+35	3
outter	3mm	100	4	5,34E+35	4,87E+35	4,60E+35	4,66E+35	3
outter	3mm	100	5	3,25E+35	4,38E+35	4,22E+35	4,29E+35	3
outter	4mm	100	1	5,39E+35	4,59E+35	4,54E+35	4,42E+35	3
outter	4mm	100	2	5,31E+35	4,68E+35	4,42E+35	4,58E+35	3
outter	4mm	100	3	3,94E+35	4,38E+35	4,51E+35	4,03E+35	3
outter	4mm	100	4	5,22E+35	4,70E+35	4,42E+35	4,55E+35	3
outter	4mm	100	5	5,31E+35	4,68E+35	4,42E+35	4,58E+35	3
outter	5mm	100	1	4,87E+35	4,75E+35	4,48E+35	4,71E+35	3
outter	5mm	100	2	5,15E+35	4,30E+35	4,28E+35	4,30E+35	3
outter	5mm	100	3	3,24E+35	4,47E+35	4,11E+35	4,17E+35	3
outter	5mm	100	4	5,66E+35	4,65E+35	4,70E+35	4,57E+35	3
outter	5mm	100	5	3,24E+35	4,47E+35	4,11E+35	4,17E+35	3
ball	1ball	0	1	4,49E+35	2,92E+35	8,27E+33	5,65E+33	4
ball	1ball	0	2	4,21E+35	3,01E+35	8,69E+33	5,44E+33	4
ball	1ball	0	3	4,20E+35	2,63E+35	8,29E+33	5,47E+33	4
ball	1ball	0	4	4,18E+35	2,97E+35	8,98E+33	5,74E+33	4
ball	1ball	0	5	4,19E+35	2,97E+35	8,99E+33	5,74E+33	4
ball	2ball	0	1	4,26E+35	2,57E+35	6,50E+33	4,13E+33	4
ball	2ball	0	2	4,26E+35	2,57E+35	6,50E+33	4,21E+33	4
ball	2ball	0	3	4,56E+35	2,60E+35	8,45E+33	5,84E+33	4

ball	2ball	0	4	4,38E+35	2,24E+35	8,66E+33	5,12E+33	4
ball	2ball	0	5	4,42E+35	2,22E+35	8,25E+33	5,13E+33	4
ball	3ball	0	1	3,67E+35	2,32E+35	9,34E+33	3,87E+33	4
ball	3ball	0	2	3,68E+35	2,86E+35	6,55E+33	3,93E+33	4
ball	3ball	0	3	3,68E+35	2,86E+35	6,55E+33	3,92E+33	4
ball	3ball	0	4	2,55E+35	2,82E+35	7,17E+33	3,09E+33	4
ball	3ball	0	5	2,95E+35	3,05E+35	6,72E+33	3,68E+33	4
ball	1ball	25	1	4,90E+35	4,26E+35	4,45E+35	4,64E+35	4
ball	1ball	25	2	5,73E+35	4,76E+35	4,90E+35	4,40E+35	4
ball	1ball	25	3	5,73E+35	4,76E+35	4,90E+35	4,40E+35	4
ball	1ball	25	4	4,88E+35	4,07E+35	4,53E+35	4,65E+35	4
ball	1ball	25	5	2,84E+35	4,94E+35	4,36E+35	4,05E+35	4
ball	2ball	25	1	4,67E+35	3,89E+35	4,10E+35	4,72E+35	4
ball	2ball	25	2	3,39E+35	4,59E+35	3,67E+35	3,83E+35	4
ball	2ball	25	3	3,22E+35	4,48E+35	3,87E+35	3,97E+35	4
ball	2ball	25	4	3,02E+35	4,61E+35	3,59E+35	3,71E+35	4
ball	2ball	25	5	3,02E+35	4,61E+35	3,59E+35	3,70E+35	4
ball	3ball	25	1	3,01E+35	4,92E+35	4,48E+35	4,47E+35	4
ball	3ball	25	2	5,10E+35	4,37E+35	4,33E+35	4,11E+35	4
ball	3ball	25	3	3,57E+35	4,79E+35	4,64E+35	4,23E+35	4
ball	3ball	25	4	3,99E+35	4,89E+35	4,37E+35	4,75E+35	4
ball	3ball	25	5	3,57E+35	4,79E+35	4,64E+35	4,23E+35	4
ball	1ball	50	1	5,08E+35	4,41E+35	4,36E+35	4,35E+35	4
ball	1ball	50	2	3,32E+35	4,81E+35	4,31E+35	4,21E+35	4
ball	1ball	50	3	4,92E+35	4,32E+35	4,42E+35	4,38E+35	4
ball	1ball	50	4	3,25E+35	4,56E+35	4,68E+35	4,33E+35	4
ball	1ball	50	5	3,25E+35	4,56E+35	4,68E+35	4,33E+35	4
ball	2ball	50	1	2,95E+35	4,50E+35	4,62E+35	4,30E+35	4
ball	2ball	50	2	3,74E+35	3,80E+35	4,18E+35	4,21E+35	4
ball	2ball	50	3	2,49E+35	4,00E+35	4,12E+35	3,89E+35	4
ball	2ball	50	4	4,97E+35	3,84E+35	4,08E+35	4,01E+35	4
ball	2ball	50	5	4,97E+35	3,84E+35	4,08E+35	4,01E+35	4
ball	3ball	50	1	4,34E+35	4,74E+35	4,66E+35	4,40E+35	4
ball	3ball	50	2	3,88E+35	4,68E+35	4,34E+35	4,35E+35	4
ball	3ball	50	3	2,91E+35	4,28E+35	4,61E+35	4,55E+35	4
ball	3ball	50	4	2,91E+35	4,28E+35	4,61E+35	4,55E+35	4
ball	3ball	50	5	3,01E+35	4,60E+35	4,58E+35	4,54E+35	4
ball	1ball	75	1	3,23E+35	4,72E+35	4,77E+35	4,37E+35	4
ball	1ball	75	2	3,49E+35	4,62E+35	4,47E+35	4,16E+35	4
ball	1ball	75	3	3,00E+35	4,01E+35	4,52E+35	4,63E+35	4
ball	1ball	75	4	4,05E+35	4,65E+35	4,32E+35	4,14E+35	4

ball	1ball	75	5	3,00E+35	4,01E+35	4,52E+35	4,63E+35	4
ball	2ball	75	1	4,68E+35	4,43E+35	4,19E+35	4,18E+35	4
ball	2ball	75	2	4,37E+35	4,44E+35	3,94E+35	3,95E+35	4
ball	2ball	75	3	3,54E+35	4,43E+35	4,25E+35	4,25E+35	4
ball	2ball	75	4	3,54E+35	4,43E+35	4,25E+35	4,25E+35	4
ball	2ball	75	5	2,70E+35	4,22E+35	4,38E+35	4,19E+35	4
ball	3ball	75	1	4,89E+35	4,28E+35	4,09E+35	4,43E+35	4
ball	3ball	75	2	5,02E+35	4,58E+35	4,26E+35	4,30E+35	4
ball	3ball	75	3	3,86E+35	3,92E+35	4,31E+35	4,20E+35	4
ball	3ball	75	4	5,36E+35	4,32E+35	4,21E+35	4,13E+35	4
ball	3ball	75	5	5,36E+35	4,32E+35	4,21E+35	4,13E+35	4
ball	1ball	100	1	4,85E+35	5,09E+35	4,38E+35	4,45E+35	4
ball	1ball	100	2	3,93E+35	4,29E+35	4,38E+35	4,21E+35	4
ball	1ball	100	3	4,19E+35	4,41E+35	4,45E+35	4,32E+35	4
ball	1ball	100	4	4,61E+35	4,30E+35	4,29E+35	4,15E+35	4
ball	1ball	100	5	3,92E+35	4,28E+35	4,38E+35	4,21E+35	4
ball	2ball	100	1	3,40E+35	4,57E+35	4,53E+35	4,21E+35	4
ball	2ball	100	2	4,32E+35	4,28E+35	3,70E+35	4,13E+35	4
ball	2ball	100	3	3,76E+35	3,71E+35	4,34E+35	4,41E+35	4
ball	2ball	100	4	5,08E+35	3,71E+35	4,11E+35	4,29E+35	4
ball	2ball	100	5	5,08E+35	3,71E+35	4,11E+35	4,29E+35	4
ball	3ball	100	1	4,63E+35	4,19E+35	4,55E+35	4,23E+35	4
ball	3ball	100	2	3,95E+35	4,55E+35	4,29E+35	4,10E+35	4
ball	3ball	100	3	3,19E+35	4,58E+35	4,29E+35	4,41E+35	4
ball	3ball	100	4	4,07E+35	4,06E+35	3,99E+35	3,63E+35	4
ball	3ball	100	5	4,07E+35	4,06E+35	3,99E+35	3,63E+35	4

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Eva Navasari, lahir 02 Oktober 1987 di Selatbaru Kecamatan Bantan Kabupaten Bengkalis. Merupakan anak pertama dari dua bersaudara.

Penulis menyelesaikan pendidikan dasar di SDN 16 Selatbaru pada tahun 1998 dan melanjutkan ke SMP N 1 Bantan lulus 2002. Setelah menamatkan sekolah menengah pertama, penulis melanjutkan pendidikan di SMAN 1 Bantan dan lulus pada tahun 2015. Pada tahun 2015 itu juga penulis melanjutkan pendidikan Diploma Tiga di Politeknik Negeri Bengkalis jurusan Teknik Elektro dan melanjutkan pendidikan di Politeknik Elektronika Negeri Surabaya jurusan Elektro Industri dan lulus 2011. Pada tahun 2015 penulis melanjutkan pendidikan magister di Institut Teknologi Sepuluh Nopember jurusan Teknik Elektro Bidang Keahlian Teknik Sistem Tenaga. Penulis bisa dihubungi via email navasarie@gmail.com